



## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

보건학석사 학위논문

대기오염이 천식으로 인한  
입원에 미치는 영향  
(서울, 상하이를 대상으로)

Associations of Air Pollution on Asthma  
Hospitalization in Seoul and Shanghai

2016 년 2 월

서울대학교 보건대학원

보건학과 보건통계전공

전 응

대기오염이 천식으로 인한  
입원에 미치는 영향  
(서울, 상하이를 대상으로)

지도 교수 김 호

이 논문을 보건학석사 학위논문으로 제출함

2015 년 11 월

서울대학교 대학원  
보건학과 보건통계전공  
전 응

전 응의 석사학위논문을 인준함

2015 년 12 월

위 원 장 \_\_\_\_\_ 조 성 일 (인)

부위원장 \_\_\_\_\_ 이 승 목 (인)

위 원 \_\_\_\_\_ 김 호 (인)

초 록

# 한국과 중국의 대기오염이 천식으로 인한 입원에 미치는 영향(서울, 상하이)

전 웅 (Woong Jeon)

보건학과 보건통계전공

(Dept. of Epidemiology and Biostatistics)

서울대학교 보건대학원

**연구배경 :** 천식은 일반적으로 만성 염증성 질환이며, 가역적 기도 폐쇄가 특징적이고, 임상적 증상들로는 천명, 기침, 흉부 압박감, 호흡 곤란 을 포함 하며, 전세계적으로 3억명에 가까운 사람이 천식으로 인한 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 또한 사회 경제적 부담 이 증가되고 있고, 특징적으로 도시화되고 산업화된 지역에서 유병률이 높은 것을 알 수 있다. 한편 대기 오염은 천식의 악화에 기여한다고 여겨지고 있으며, 대기오염의 위험이 높은 중국에서는 천식

증상을 겪는 전체인구가 3,000만명에 이르며, 한국에서는 성인의 질병부담 3위의 질환이다.

**목표 :** 본 연구는 한국의 서울과, 중국의 상하이 두 도시에서 의료보험자료를 이용하여, 대기오염물질이 천식의 입원에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

**연구방법 :** 본 연구는 대기오염 물질이 천식의 입원에 미치는 영향을 알아보기 위해 서울(2001-2006년)과 상하이(2005-2011년)의 의료보험자료, 기상자료 및 대기오염자료를 Quasi-Poisson 분포를 가정한 일반화 부가 모형(Generalized Additive Model)을 이용하여 시계열 분석을 수행하였다. 종속변수로는 일별 천식에 따른 입원환자수, 독립변수로는 대기오염물질( $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ )를 설정하였다. 또한 본 모형에서 기온, 상대습도, 요일, 계절과 시간의 추세를 보정하며, 대기오염물질의 지연효과를 알아보고자 단일지연효과(1,2,3,4일)와 이동평균법(0~1일)를 함께 고려한 분석과 다른 대기오염물질의 영향을 통제하고자  $NO_2$ ,  $SO_2$  와  $PM_{10}$ 을 각각 보정한 추가분석을 실시 하였으며, 계절에 따른 영향 차이를 고려한 모형도 함께 분석하였다.

**결과 :** 평균적으로 일 평균 천식 입원 수는 서울에서 21회, 상하이에서 5회로 나타났으며, 두 지역 모두에서 천식에 따른 입원은 4계절중 가을에 높았다. 대기오염물질의 농도는  $PM_{10}$ 의 경우  $65\mu g/m^3$  (서울),  $87\mu g/m^3$  (상하이),  $SO_2$ 의 경우  $13\mu g/m^3$  (서울),  $45\mu g/m^3$  (상하이),  $NO_2$ 의 경우  $68\mu g/m^3$  (서울),  $59\mu g/m^3$  (상하이)로 나타났으며 일 평균온도와 상대습도는 서울에서는  $12^\circ C$ , 61%, 상하이에서는  $17^\circ C$ , 67%로 각각 나타났다. 대기오염물질간의 상관관계는 높았으며, 대기오염물질( $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ )과 일별 천식에 의한 입원수도 높은 상관관계를 보였다. 그리고 세가지 오염물질의 지연효과

는 이동평균법(lag01)을 사용하였을 때 대체로 큰 효과와 통계적으로 유의한 값을 보였다. 계절로 구분 지어 분석을 하였을 경우에는 PM<sub>10</sub>은 서울의 가을에, SO<sub>2</sub>와 NO<sub>2</sub>는 상하이의 가을에 가장 큰 영향을 보여주었다. 두 가지 대기오염물질의 혼합모형을 살펴볼 경우 PM<sub>10</sub>은 보정여부와 관계없이 서울에서만 유의한 영향을 보여주었고, SO<sub>2</sub>와 NO<sub>2</sub>는 상하이에서 유의한 결과를 보여주었으며, PM<sub>10</sub>으로 보정하였을 경우에는 그 효과가 큰 것으로 나타났다.

**결론:** 본 연구는 대기오염과 천식으로 인한 입원의 영향을 보는 것으로 서울과 상하이 두 지역에서 비교연구를 한 것이다. 상하이(중국)에서는 가스성 대기오염 물질(SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>)이 PM<sub>10</sub>에 비해서 천식의 입원에 큰 영향을 가져오는 것으로 보이며, 이에 반해 서울(한국)에서는 PM<sub>10</sub>이 SO<sub>2</sub> 또는 NO<sub>2</sub>에 비해 천식으로 인한 입원에 더 큰 위험 요인으로 나타났다. 이런 연구 결과는 대기오염 물질과 급성천식의 악화가 뚜렷한 관련성이 있으며 국가간에 차이가 있다는 것을 보여주며, 천식 및 호흡기 질환 정책 및 보건의료자원 배분에 활용되어질 필요성이 있다.

**주요어:** 천식, 서울, 상하이, 대기오염, 입원, 일반화부가모형

**학번:** 2013-21871

# 목 차

제 1 장 서론 .....	1
제 1 절 연구의 배경 및 필요성 .....	1
제 2 절 연구목적 및 가설.....	3
제 2 장 연구방법 .....	4
제 1 절 연구대상 .....	4
제 2 절 통계적 분석방법 .....	6
제 3 장 연구결과 .....	10
제 1 절 기술통계량 .....	10
제 2 절 상관관계 분석.....	16
제 3 절 대기오염물질의 농도별 천식의 입원 증가 .....	18
제 4 절 대기오염물질의 지연효과에 따른 천식의 입원 증가 .....	22
제 5 절 대기오염물질의 계절별 천식의 입원 증가 .....	30
제 6 절 대기오염물질의 혼합모델에 따른 천식의 입원 증가 .....	35
제 4 장 결론 및 고찰.....	38
참고문헌.....	40
Appendix .....	44
Abstract.....	51

# List of Tables

[Table1] Comparisons of the study areas .....	5
[Table2] Variables and Characters of the model .....	7
[Table3] Summary statistics of daily asthmatic hospitalization admission (Seoul N=45541), air pollutant concentrations and weather conditions in Seoul(2001-2006) .....	12
[Table4] Summary statistics of daily asthmatic hospitalization admission (Shanghai N=15,678), air pollutant concentrations and weather conditions in Shanghai(2005-2011) .....	13
[Table5] Pearson correlation coefficients between daily air pollutant concentrations and weather conditions in Seoul(2001-2006) and Shanghai(2005-2011) .....	17
[Table6] Percent change of risk (mean and 95% confidence interval) in daily asthma hospital admission per $PM_{10}$ $10 \mu g/m^3$ change of exposure in air pollutants in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) .....	24
[Table7] Percent change of risk (mean and 95% confidence interval) in daily asthma hospital admission per $SO_2$ $10 \mu g/m^3$ change of exposure in air pollutants in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) .....	25



**[Table8] Percent change of risk (mean and 95% confidence interval) in daily asthma hospital admission per NO<sub>2</sub> 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  change of exposure in air pollutants in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) .....26**

**[Table9] Percent change of risk (mean and 95% confidence interval) in daily asthma hospital admission per 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  change of exposure in air pollutants by season in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) .....31**

**[Table10] Percent change of risk (mean and 95% confidence interval) in daily asthma hospital admission per 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  change of exposure in air pollutants with single and two-pollutant models in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) .....37**

## List of Figures

[Figure1] Smoothing plots of asthma hospital admission in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) .....	9
[Figure2] Comparisons of Air pollution concentrations (24-h average) in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) .....	14
[Figure3] Comparisons of Meteorological Measures (24-h average) in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) .....	15
[Figure4] Smoothing plots of PM <sub>10</sub> against asthma hospital admission. X-axis is the pollutants concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (2day moving average lag, Lag01).....	19
[Figure5] Smoothing plots of SO <sub>2</sub> against asthma hospital admission. X-axis is the pollutants concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (2day moving average lag, Lag01) .....	20
[Figure6] Smoothing plots of NO <sub>2</sub> against asthma hospital admission. X-axis is the pollutants concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (2day moving average lag, Lag01).....	21
[Figure7] Relative risk (mean and 95% confidence interval) in daily asthma hospital admission per PM <sub>10</sub> 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ change of exposure in air	

**pollutants in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) .....27**

**[Figure8] Relative risk (mean and 95% confidence interval) in daily  
asthma hospital admission per SO<sub>2</sub> 10 µg/m<sup>3</sup> change of exposure in air  
pollutants in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) .....28**

**[Figure9] Relative risk (mean and 95% confidence interval) in daily  
asthma hospital admission per NO<sub>2</sub> 10 µg/m<sup>3</sup> change of exposure in air  
pollutants in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) .....29**

**[Figure10] Relative risk in daily asthma hospital admission per PM<sub>10</sub> 10  
µg/m<sup>3</sup> change of exposure by season in Seoul(2001-2005) and  
Shanghai(2006-2011) .....32**

**[Figure11] Relative risk in daily asthma hospital admission per SO<sub>2</sub> 10 µg  
/m<sup>3</sup> change of exposure by season in Seoul(2001-2005) and  
Shanghai(2006-2011) .....33**

**[Figure12] Relative risk in daily asthma hospital admission per NO<sub>2</sub> 10µg/  
m<sup>3</sup> change of exposure by season in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-  
2011).....34**

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구의 배경 및 필요성

세계보건기구(2007)는 전세계적으로 대기오염으로 인한 사망자수가 3백만명(1.4~6백만명)이고, 전체사망자(55백만명)의 약 5%를 차지하는 것으로 추정하고 있다. 한편 대기오염과 그에 따른 대기 오염 물질의 증가에 따라 인구집단에게 미치는 영향은 크며 다수의 연구를 통해 알려져 왔다(Chen et al., 2004). 1952년 12월 5일~12월 9일까지의 런던스모그가 대기오염에 따른 사망의 영향을 보여준 대표적인 사건으로 사망자수가 평상시 보다 약 2.6배인 4,000명 이상이 사망 했으며, 1953년 2월까지 8,000여명의 사망자를 보여주었다. 그리고 대기오염이 건강에 미치는 영향은 연령과 성별, 주거지, 기상상황, 경제수준 등에 따라 다양하게 나타난다(Kan et al.,2008). 또한 특정 그룹에 있어서는 그 영향이 더욱 두드러지게 나타나며(WHO,2004), 현재 호흡기 질환을 가지고 있을 경우에는 그 영향에 더욱 취약하다(Goldberg et al.,2001).

특히, 호흡기 질환 중 전세계적으로 3억명에 가까운 사람이 천식으로 인한 영향을 받고 있는 것으로 나타났으며(Masoli et al.,2004), 사회 경제적 부담이 급증하고 있으며, 산업화되고 선진화된 지역에서 특히 유병률이 높은 것을 알 수 있다(To et al.,2012). 그리고 대기오염의 위험이 높은 중국에서는 천식증상을 겪는 전체인구가 3,000만명에 이르며(Chen et al.,2013), 한국에서는 성인의 질병부담 3위의 질환이다. 대기오염에 따른 천식의 영향을 정량적으로 분석한 기존연구에서는 건강영향(Health

Outcome)으로 천식악화, 천식으로 인한 병원 입원 등을 통해 알아보고 있다.

다른 나라의 선행 연구를 살펴볼 경우 일본의 도쿄에서는 응급실 환자 중 1% 정도가 천식악화로 입원한 경우였으며, 낮은 기온이 이에 추가적인 영향을 보이는 것을 알 수 있었으며(Abe et al., 2009), 미국에서는 메디케이드(Medicaid) 자료를 이용해 살펴 보았을 때  $PM_{10}$ (particulate matter less than  $10\mu m$  in aerodynamic diameter)과  $SO_2$ (sulfur dioxide)는 천식악화에 영향을 미쳤고(Jaffe et al., 2003), 유럽에서는 성인에서는  $NO_2$ (nitrogen dioxide), 소아에서는  $SO_2$ 가 천식입원에 영향을 주었으며(Sunyer et al., 2000), 대만의 자료에서는  $SO_2$ ,  $NO_2$ , CO 성분이 천식 입원에 영향을 미친 것으로 나타났다(Yang et al., 2007).

본 연구에는 대기오염 물질이 천식의 입원에 미치는 건강 영향을 알아보는 것이 주 목적이며, 국가간의 비교를 통해 대기오염에 대한 나라별 급성 천식의 취약성을 살펴보는 것과 대기오염 물질의 지연효과(lag effect)를 통해 천식의 악화의 시계열적 고찰과, 계절에 따른 영향의 차이를 살펴보는 것으로서도 그 중요성이 있다.

## 제 2 절 연구목적 및 연구가설

본 연구목적은 한국(서울) 국민건강보험의 청구자료(National health insurance claim data) 와 중국(상하이)의 상하이 의료보험자료(Shanghai health insurance bureau data)를 활용하여 대기오염이 천식으로 인한 입원에 미치는 영향을 정량적으로 분석하는 것이며,

본 연구의 가설은 다음과 같다

- 지역간(나라별)로 대기오염에 따른 천식 관련 입원에 미치는 영향은 다르다.
- 대기오염의 성분( $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ )에 따른 천식 관련 입원에 대한 영향은 달라진다.
- 대기오염물질은 지연효과(lag effect)에 따라 천식관련입원에 대한 영향은 달라진다.
- 대기오염물질의 계절별 천식 관련 입원의 영향은 차이가 난다.

## 제 2 장 연구 방법

### 제 1 절 연구대상

본 연구의 연구대상은 한국의 수도(Capital)이자, 가장 큰 대도시인 서울(Seoul), 중국의 상업의 중심지이며 대표적인 대도시로 상하이(Shanghai)를 분석지역으로 한다.

각 도시 별로 수집된 자료의 기간은 2001년 1월1일부터 2006년 12월31일까지(서울), 2005년 1월1일부터 2011년 12월31일까지(상하이)이다.

또한 각 지역별로 자료의 출처는 아래와 같다.

한국(서울)의 데이터는 한국 기상청의 기상자료(Korea Meteorological office), 한국보건환경연구소의 대기오염자료(Research Institute of Public Health and Environment in Korea), 국민건강보험의 청구자료(National Health Insurance Claim, Seoul, 2001-2006년)의 자료를 활용할 것이며, 중국의 데이터는 중국기상자료(China Meteorological Data Sharing Service System), 상하이 환경모니터링 센터의 대기오염자료(SEMC-Shanghai Environmental Monitoring Center), 상하이 건강보험자료(Shanghai Health Insurance, nine urban districts area in shanghai, 2005-2011년)를 활용하여 분석을 하였다.

**[Table1] Comparisons of the study areas**

	Seoul	Shanghai
Study period	January 1, 2001 – December 31, 2006 (2191 days)	January 1, 2005 – December 31, 2011 (2922 days)
Total Asthma related Hospitalization	45,541	15,678
Study area	605.18 km <sup>2</sup> (Total area)	279 km <sup>2</sup> (9 Urbanized area)
Total area	605.18 km <sup>2</sup>	6,340.5km <sup>2</sup>
Study population	10,297,004 (100% of total pop)	Around 7,000,000 (51% of total pop)
Total population	10,297,004 (2005)	13,602,600 (2005)
Latitude	37° 34′	31° 14′
Longitude	126° 59′	121° 29′



## 제 2절 통계적 분석방법

일별 천식 입원환자수(Daily Asthma Hospitalization), 대기오염 자료(Air pollution data), 기상자료(Meteorological data)는 날짜별로 연결할 것이며, 시계열 분석(Time-series analysis)이 필요하다. 그에 따라 본 연구에서는 GAM(Generalized Additive Model : 일반화 부가 모형) 모형을 사용한다.

GAM 모형은 비선형 함수(Non-linear function)를 포함한 회귀 모형(Regression model)을 의미하며 적합하고자 하는 각 변수 별 함수들의 합의 모양인  $Y = f(x_1) + f(x_2) + \dots + f(x_n)$  형식으로 이해를 해 볼 수 있다. Natural Cubic Splines 함수는 국소화된 여러 개의 3차 함수가 연결된 함수로, 시계열적 변화를 가진 대상을 설명하기 위한 함수로 널리 이용되고, (Peng, Dominici et al. 2006) 본 자료의 비선형적인 관계를 시계열 분석에서 반영하기 위하여 NS(Natural Cubic Splines)를 사용한다.

다만 포아송 분포의 경우 평균과 분산이 같은 특성이 존재하며, 분석 시 분산이 평균보다 커지는 과산포(Overdispersion)의 문제가 있을 수 있다. 따라서 이를 보완하기 위해 실제 분석에서는 과산포를 가정한 Quasi-Poisson 분포를 사용한다. (Dominici et al., 2004)

모델 설정은 (Bell, Ebisu et al. 2008)을 참고하였다.

연구모형은 아래와 같다.

$$\log(E(Y)) = \alpha + \text{Pollutant} + ns(\text{humid}, df) + ns(\text{temp}, df) + \text{factor}(\text{dow}) + ns(\text{sn}, df)$$

종속변수는 Asthma(J45), (ICD-10:International Classification of Diseases, Revision 10)로 코드화 되어 기록된 일별 천식 입원 환자수(Daily number of Asthma hospitalization)이고, 두 지역 모두 성인을 대상으로 하지만 원자료(Raw data) 인 의료보험 데이터의 코드의 상이함으로 인해 서울은 20세이상, 상하이는 18세 이상으로 다소 차이가 있다. 독립변수는 대기오염물질의 농도로 각각 PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> 이며 각 물질의 단위는  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며, 최종모델에서는 lag01 (2-day moving average)를 이용하였다

각 모델의 변수를 정리하면 다음과 같다.

**[Table2] Variables and Characters of the model**

Variable		Character
<b>Y</b>	Daily number of Asthma hospitalization	Continuous
		Asthma (J45): ICD-10
		Seoul : $\geq 20$ years old
		Shanghai : $\geq 18$ years old
<b>Pollutant</b>	PM <sub>10</sub>	Continuous
	NO <sub>2</sub>	
	SO <sub>2</sub>	unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		2-day moving average : lag01
<b>Other Variables</b>	Day of week	Categorical
	<i>factor(DOW)</i>	
<b>(COVs)</b>	Temperature	Continuous
	<i>ns(temp, df = 6)</i>	
	Humidity	Continuous
	<i>ns(humid, df = 3)</i>	

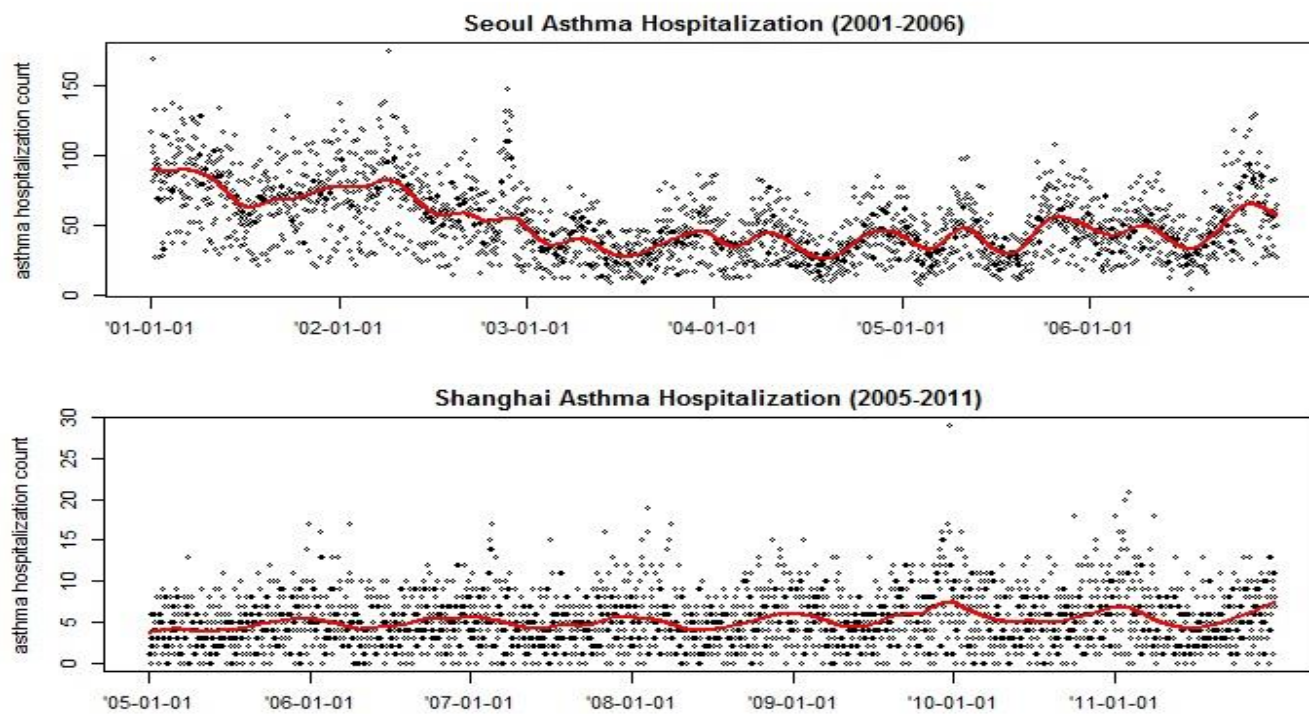
Timetrend	Continuous
$ns(sn, df = year * 7)$	
	Seoul : 6years
	Shanghai : 7years

또한 공변량(Covariates)으로서 잠재적인 비선형적(non-linear) 관계와 교호작용(interaction)의 보정을 하기 위해 기상조건 중 일 평균 온도(°C, daily mean temperature)는 자유도6(degree of freedom), 일 평균 습도(% ,daily mean humidity)는 자유도3(degree of freedom)으로 보정하였다. 또한 요일을 보정(Day of Week)하고, 측정되지 않은 장기적인 시계열 보정을 1년당 7의 자유도(degree of freedom)를 반영하여 보완 하였다.

한편 분석 시 대기오염 변수( $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ )에 대해서는 지연효과(Lag0~5:단일지연값, Lag01:2일 이동평균값)를 사용하여 분석하였다. Lag(지연효과)란 관심 변수의 관측값을 일정기간 앞으로 당기는 것으로 이해할 수 있다. 지연효과를 사용하는 주된 이유는 대기오염 노출에 대한 건강 상태의 변화에 일정 시간이 필요하기 때문인 것으로 이해할 수 있다. 본 결과 기술 시에는 대기오염의 단일지연효과(lag 0~5)와 2일 이동평균값(lag01) 중 가장 사망에 큰 영향을 준 지연효과를 중심으로 살펴보기로 한다. 그리고 천식의 입원에 미치는 영향이 계절별로 어떤 영향을 미치는가와 대기오염 변수간의 영향을 보기 위해서 교호 작용을 고려하여 분석을 실행하며, 이는 계절에 따른 건강영향의 이질성과 대기오염 성분의 상호 관련성을 보여줄 것이다.

모든 분석은 R version 3.02 와 SAS 9.4를 이용하였다.

[Figure1] Smoothing plots of asthma hospital admission in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011)



## 제 3 장 연구 결과

### 제 1 절 기술통계량

[Table3], [Table4]에서는 각각 서울(Seoul)과 상하이(Shanghai)의 기술통계량(Descriptive statistics)을 보여주고 있다. 서울과 상하이의 천식입원횟수는 총 기간(서울 6년 : 2001-2006년, 상하이 7년 : 2005-2011년) 동안 45,541회와 15,678회로 각각 나타났다. 상하이의 천식 입원횟수가 적은 이유로는 상하이의 의료보험자료는 상하이의 9개의 시내중심지역(Urbanized area, 약 7백만명)에 국한되어 다소 실제와 차이를 보이는 것으로 나타났다.

서울(Seoul)은 일 평균 20.8회의 천식에 따른 입원이 나타났으며, 천식에 따른 입원횟수는 여름(17.4회)이 다른 계절에 비하여 적게 나타났고, 봄(24.3회)이 가장 많았으며, 봄, 겨울, 가을, 여름 순인 것으로 나타났다. 또한 연구기간 동안 평균적인 PM<sub>10</sub> 농도는 65 $\mu$ g/m<sup>3</sup>이었으며, SO<sub>2</sub>와 NO<sub>2</sub>는 각각 13 $\mu$ g/m<sup>3</sup>와 68 $\mu$ g/m<sup>3</sup>인 것으로 분석되었다. 일 평균온도는 12℃, 상대습도는 61%으로 나타났다. 그리고 성별과 연령을 구분 지어 살펴볼 경우 남성이 천식에 따른 입원을 하는 경우는 일 평균 9.8회, 여성은 11회를 차지했으며, 연령별로 볼 경우 큰 차이는 없지만 20-65세는 10.5회, 65세이상은 10.3회 인 것으로 나타났다.

상하이(Shanghai)는 일 평균 5.5회의 천식 입원횟수를 보였고, 서울과 마찬가지로 여름(4.8회)이 가장 적은 천식입원횟수를 보였

고, 겨울(6.8회)이 가장 많았다. 그 순서는 계절별로 살펴볼 경우 겨울, 가을, 봄, 여름 순서로 나타났다.  $PM_{10}$ 농도는  $87\mu g/m^3$ ,  $SO_2$ 농도는  $45\mu g/m^3$  그리고  $NO_2$ 농도는  $59\mu g/m^3$ 으로 나타났고, 일 평균온도와 상대습도는  $17^\circ C$ , 69%로 각각 나타났다. 그리고 성별과 연령을 구분 지어 살펴볼 경우 남성이 천식에 따른 입원을 하는 경우는 일 평균 3.0회, 여성도 3.0회를 차지했으며, 연령별로 볼 경우 큰 차이는 없지만 18-65세는 3.0회, 65세이상은 2.0회 인 것으로 나타났다.

한편 서울과 상하이의 대기오염물질의 농도를 비교하기 위해 24시간 평균농도를 비교해 보면 [Figure2]에서 보는 것처럼  $PM_{10}$  농도의 경우에는 서울( $65.5\mu g/m^3$ ), 상하이( $87.9\mu g/m^3$ )로 상하이가 높고,  $SO_2$ 의 농도는 서울( $13.2\mu g/m^3$ ), 상하이( $45\mu g/m^3$ )로 상하이가 서울에 비해 3배보다 더 높음을 알 수 있다. 한편  $NO_2$ 의 농도는 서울( $68.4\mu g/m^3$ ), 상하이( $59.8\mu g/m^3$ )로 서울이 조금 더 높은 농도를 나타낸다.

기상조건 [Figure3]에서는 평균온도는  $17.5^\circ C$ (상하이),  $12.9^\circ C$ (서울)로 상하이가 높으며, 상대습도도 69.5%(상하이), 61.8%(서울)로 높아, 두 기상조건 모두 상하이가 높게 나타난다.

**[Table3] Summary statistics of daily asthmatic hospitalization admission (Seoul N=45541),air pollutant concentrations and weather conditions in Seoul(2001-2006)**

**Min: minimum; P (25): 25<sup>th</sup> percentile; P (50): 50<sup>th</sup> percentile; P (75): 75<sup>th</sup> percentile; Max: maximum**

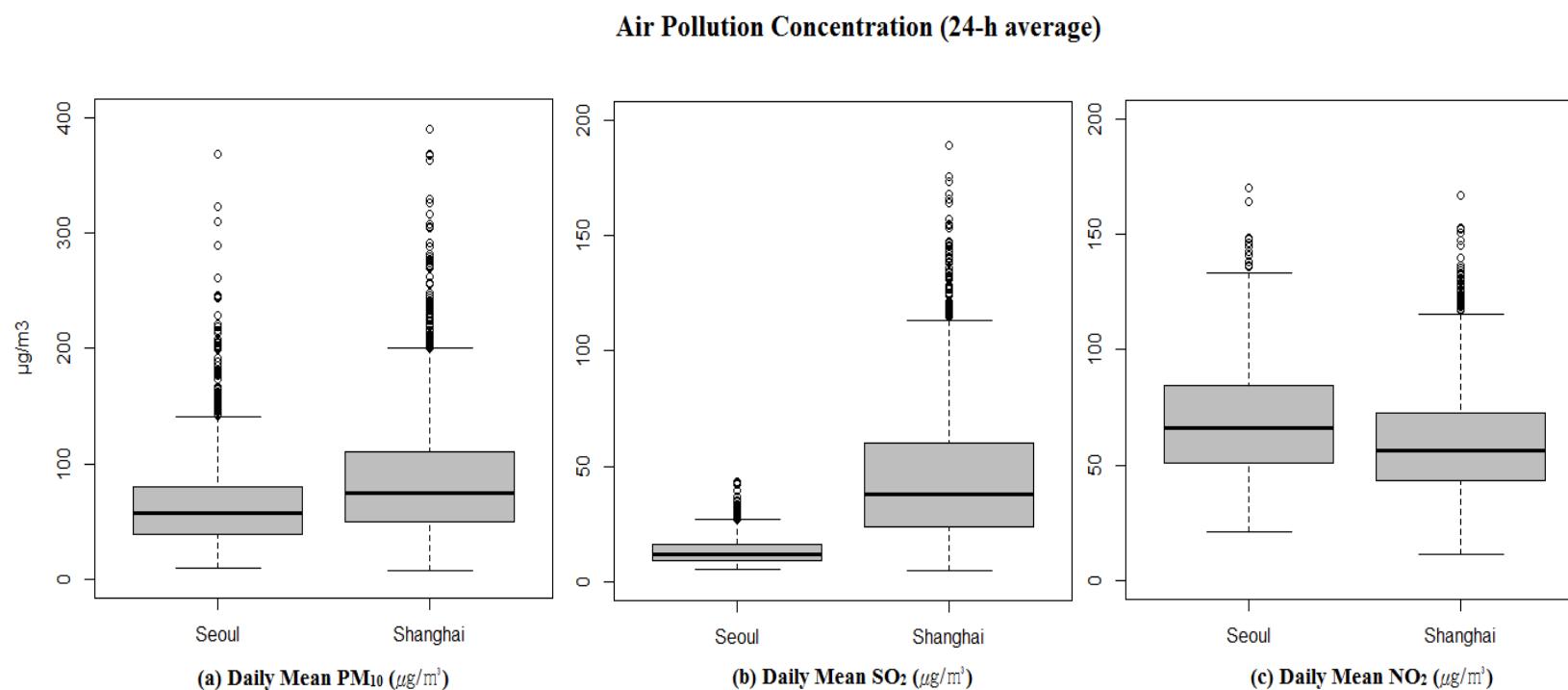
Seoul		Mean	SD	Min	P(25)	P(50)	P(75)	Max
<b>Daily Asthma hospitalization</b>		20.8	11.1	2.0	13.0	18.0	26.0	84.0
<b>Season</b>	<b>Spring(Mar-May)</b>	24.3	11.9	4.0	16.0	22.0	32.0	83.0
	<b>Summer(Jun-Aug)</b>	17.4	8.6	3.0	11.0	16.0	22.0	57.0
	<b>Fall(Sep-Nov)</b>	18.6	10.3	2.0	12.0	16.0	23.0	84.0
	<b>Winter(Dec-Feb)</b>	22.8	12.0	3.0	14.0	20.0	29.0	76.0
<b>Sex</b>	<b>Male</b>	9.8	5.7	0.0	6.0	9.0	13.0	41.0
	<b>Female</b>	11.0	6.5	0.0	6.0	10.0	14.0	58.0
<b>Age</b>	<b>20-65</b>	10.5	5.9	0.0	6.0	9.0	13.0	50.0
	<b>≥65</b>	10.3	6.3	0.0	6.0	9.0	14.0	44.0
<b>Air pollution Concentrations(24-h average)</b>								
<b>PM<sub>10</sub> (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>		65.5	50.2	10.0	39.0	57.0	80.0	983.0
<b>SO<sub>2</sub> (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>		13.2	5.6	5.1	8.9	11.8	16.2	43.2
<b>NO<sub>2</sub> (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>		68.4	23.0	20.9	50.9	66.0	84.3	170.1
<b>Meteorological measures(24-h average)</b>								
<b>Temperature(<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>		12.9	10.1	-15.7	4.1	14.5	21.8	30.4
<b>Relative Humidity(%)</b>		61.8	14.7	21.1	50.8	61.8	72.4	96.0

**[Table4] Summary statistics of daily asthmatic hospitalization admission (Shanghai N=15,678), air pollutant concentrations and weather conditions in Shanghai(2005-2011)**

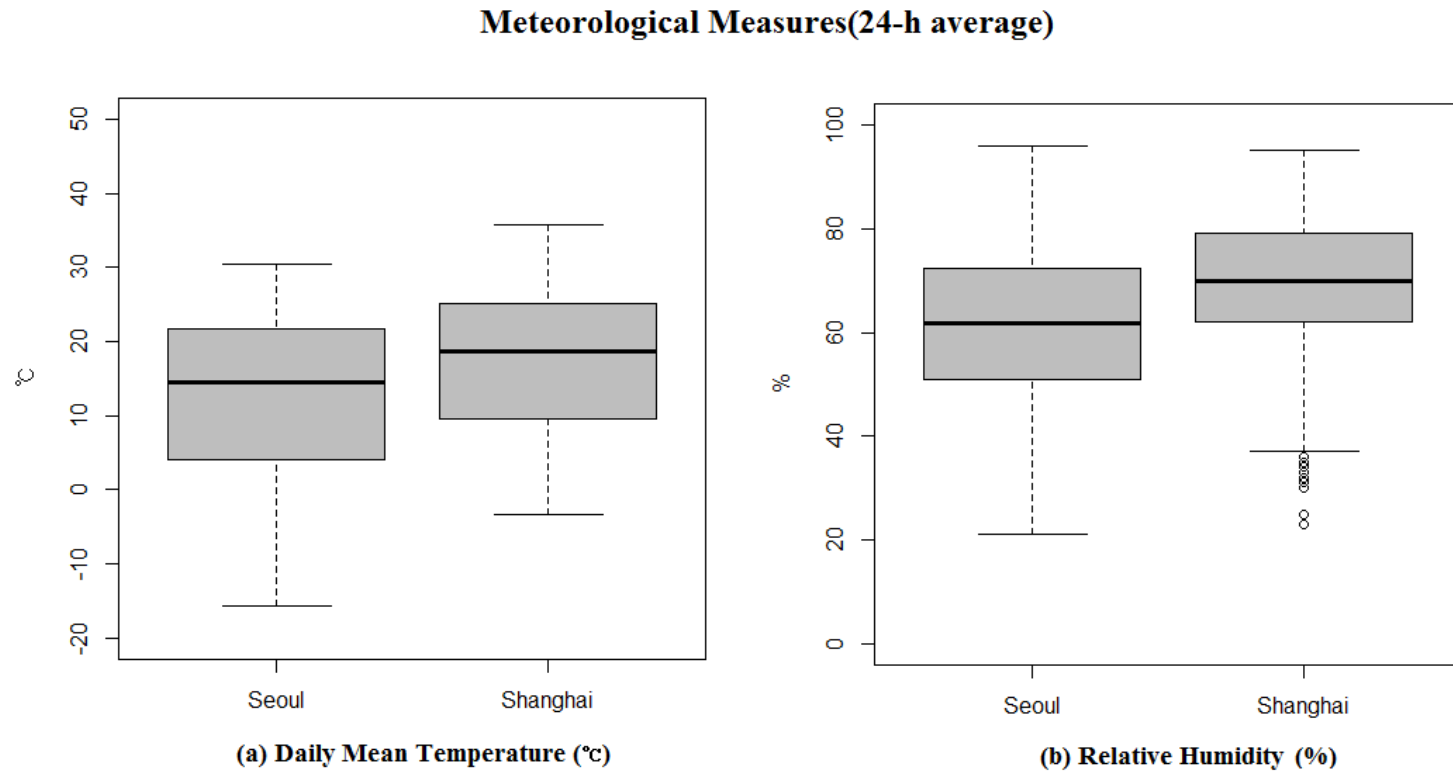
Shanghai		Mean	SD	Min	P(25)	P(50)	P(75)	Max
<b>Daily Asthma hospitalization</b>		5.5	3.2	1.0	3.0	5.0	7.0	29.0
<b>Season</b>	<b>Spring(Mar-May)</b>	5.0	3.0	1.0	3.0	5.0	7.0	18.0
	<b>Summer(Jun-Aug)</b>	4.8	2.6	1.0	3.0	5.0	6.0	15.0
	<b>Fall(Sep-Nov)</b>	5.8	3.0	1.0	3.0	6.0	8.0	18.0
	<b>Winter(Dec-Feb)</b>	6.5	3.9	1.0	4.0	6.0	9.0	29.0
<b>Sex</b>	<b>Male</b>	3.0	2.0	0.0	1.0	2.0	4.0	18.0
	<b>Female</b>	3.0	2.0	0.0	1.0	2.0	4.0	13.0
<b>Age</b>	<b>18-65</b>	3.0	3.0	0.0	2.0	3.0	5.0	20.0
	<b>≥65</b>	2.0	2.0	0.0	1.0	2.0	3.0	12.0
<b>Air pollution Concentrations(24-h average)</b>								
<b>PM<sub>10</sub> (μg/m<sup>3</sup>)</b>		87.9	55.9	7.0	50.0	74.4	110.0	643.0
<b>SO<sub>2</sub> (μg/m<sup>3</sup>)</b>		45.0	28.4	5.0	23.8	38.0	60.0	223.0
<b>NO<sub>2</sub>(μg/m<sup>3</sup>)</b>		59.8	22.7	11.2	43.4	56.4	72.4	167.0
<b>Meteorological measures (24-h average)</b>								
<b>Temperature(°C)</b>		17.5	9.1	-3.4	9.6	18.7	25.2	35.7
<b>Relative Humidity(%)</b>		69.5	12.3	23.0	62.0	70.0	79.0	95.0



**[Figure2] Comparisons of Air pollution concentrations (24-h average) in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011)**



**[Figure3] Comparisons of Meteorological Measures (24-h average) in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011)**



## 제 2 절 상관관계 분석

서울(한국)와 상하이(중국) 두 지역 모두에서 세 가지 대기오염 물질( $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ )과 일별 천식에 의한 입원 수와 높은 상관관계를 보였다[Table5]. 서울의 경우 천식입원과  $PM_{10}$ 은 0.252,  $SO_2$ 는 0.140,  $NO_2$ 는 0.183으로 나타났으며, 상하이의 경우는 각각 순서대로 0.0176, 0.0396, 0.1013으로 값이 나왔다.

한편 온도와 상대습도는 일별 천식에 의한 입원 수와 상관 관계가 없는 것으로 보이며 오히려 역의 상관관계가 관찰된다. 대기오염 물질과 일 평균 온도 및 상대습도도 특별한 상관성이 없다.

하지만 상대습도와 일 평균 온도는 일반적인 사실과 마찬가지로 서로간에 상관 관계가 높게 나타난다. 서울의 경우 0.406, 상하이의 경우 0.161의 값을 가진다.

대기오염물질의 피어슨 상관계수 (Pearson correlation coefficients)를 자세히 살펴보면 서울의 경우에는  $PM_{10}$ 과  $SO_2$ 가 0.367,  $PM_{10}$ 과  $NO_2$ 가 0.385,  $SO_2$ 와  $NO_2$ 가 0.753으로 상대적으로  $SO_2$ 와  $NO_2$ 가 높은 상관관계를 보였다. 상하이에서는  $PM_{10}$ 과  $SO_2$ 는 0.627,  $PM_{10}$ 과  $NO_2$ 는 0.660,  $SO_2$ 와  $NO_2$ 는 0.703으로 서울에 비해 상하이는 대기오염물질이 서로 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났다.

**[Table5] Pearson correlation coefficients between daily air pollutant concentrations and weather conditions in Seoul (2001-2006) and Shanghai(2005-2011)**

<b>Seoul</b>					
	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>Temperature</b>	<b>Relative Humidity</b>	<b>Asthma Hospitalization</b>
<b>PM<sub>10</sub></b>	0.367	0.385	-0.079	-0.073	0.252
<b>SO<sub>2</sub></b>		0.753	-0.429	-0.229	0.140
<b>NO<sub>2</sub></b>			-0.237	-0.187	0.183
<b>Temperature</b>				0.406	-0.194
<b>Relative Humidity</b>					-0.126
<b>Shanghai</b>					
	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>Temperature</b>	<b>Relative Humidity</b>	<b>Asthma Hospitalization</b>
<b>PM<sub>10</sub></b>	0.627	0.660	-0.185	-0.285	0.0176
<b>SO<sub>2</sub></b>		0.703	-0.304	-0.352	0.0396
<b>NO<sub>2</sub></b>			-0.352	-0.180	0.1013
<b>Temperature</b>				0.161	-0.1799
<b>Relative Humidity</b>					-0.0222

### 제 3 절 대기오염물질의 농도별 천식의 입원 증가

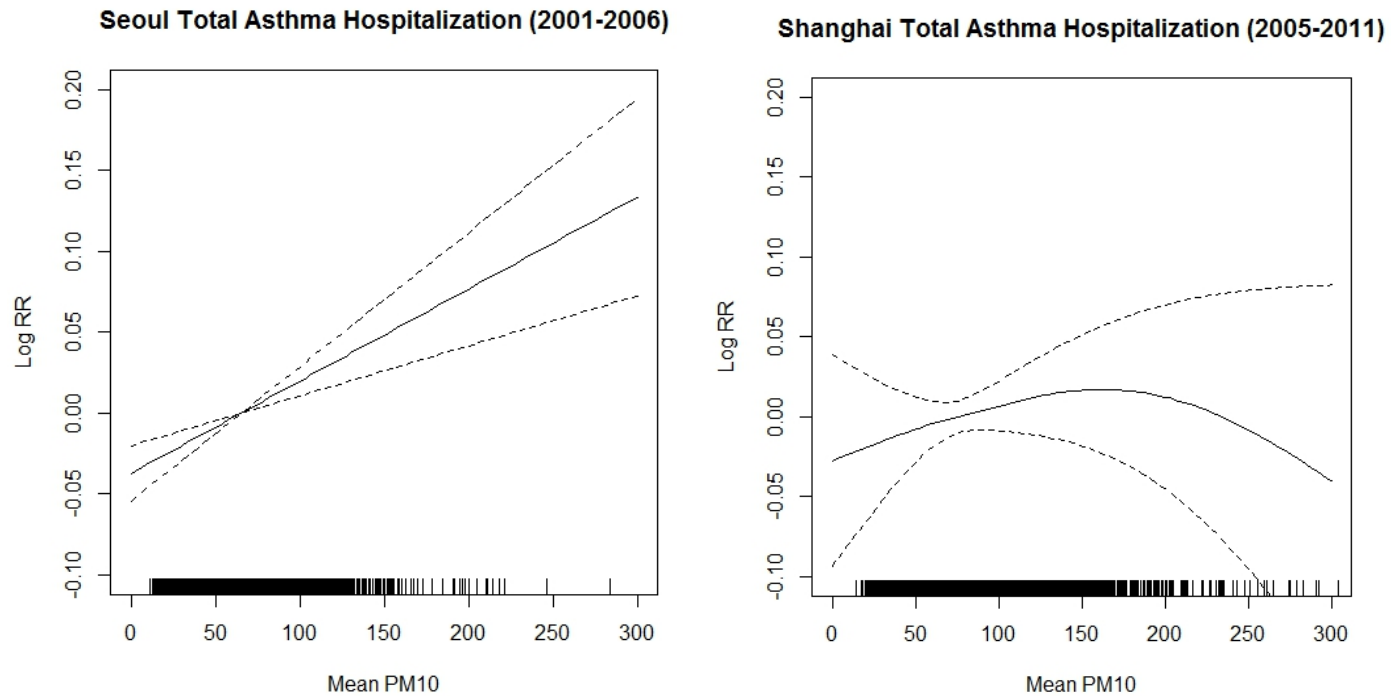
[Figure4]는 대기오염물질 중  $PM_{10}$ 과 천식에 따른 병원입원의 상대위험도(Relative Risk)를 나타낸 것이며, [Figure5]는  $SO_2$ 와 천식에 따른 병원입원의 상대위험도를 나타낸 것 이고, [Figure6]는  $NO_2$ 와 천식에 따른 병원입원의 상대위험도를 나타낸 것이다. 세 그림 모두, 실선은 일별 천식으로 인한 입원의 상대위험도의 추정값을 나타내며, 점선은 95% 신뢰구간을 나타내준다.

우선, [Figure4]의  $PM_{10}$  농도와 천식에 따른 입원의 관계를 볼 경우  $PM_{10}$ 의 농도가 증가할 경우, 천식에 대한 상대위험도가 서울에서는 거의 선형적으로 증가하지만, 상하이에서는 이런 관계를 보이지 못하고, 오히려 고농도에서 떨어지는 형태를 보이고 있다.

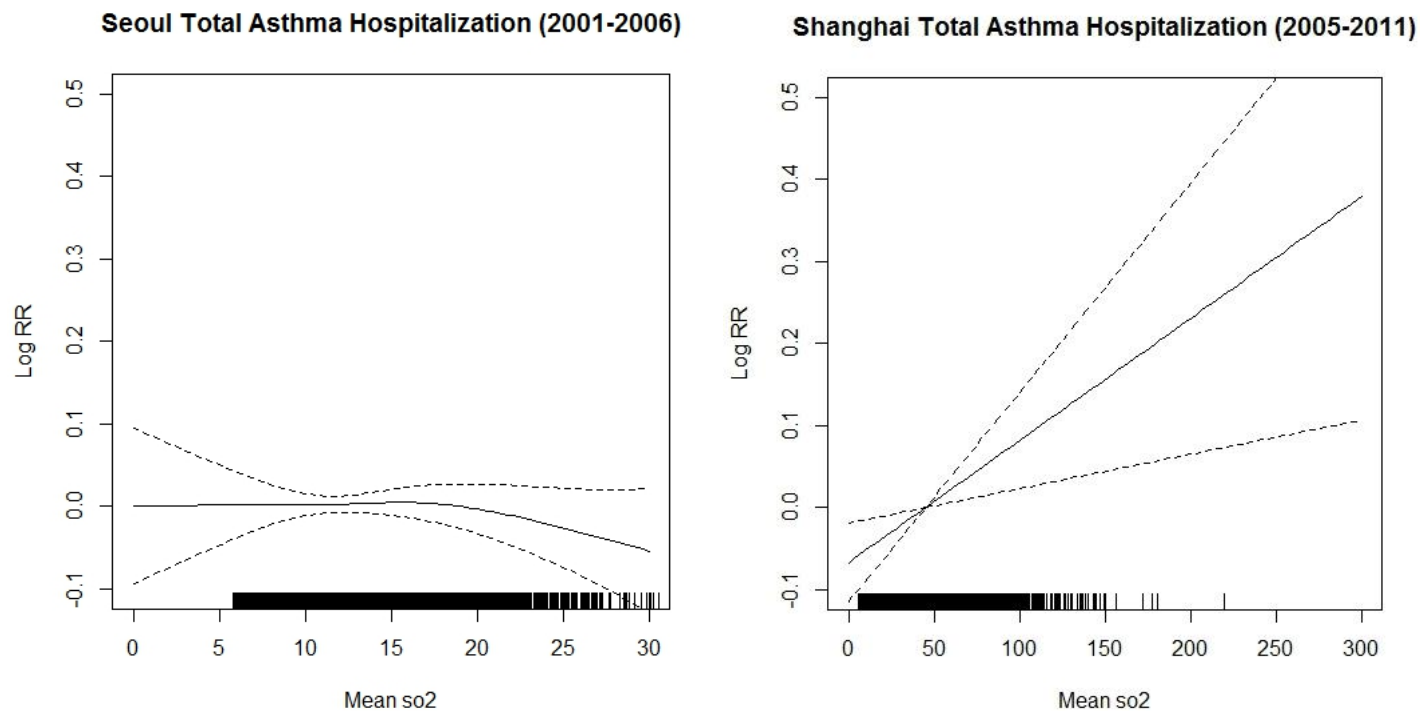
다음으로 [Figure5]에서는 대기오염물질 중  $SO_2$ 의 농도와 천식입원의 상대위험도의 추정 값을 살펴 볼 경우, 서울에서는 일정한 관계를 보여주지 못하고 있지만, 상하이에서는 농도가 증가함에 따라 천식의 입원에 대한 상대위험도가 급격히 증가하는 형태를 보여준다.

마지막으로 [Figure6]는  $NO_2$  농도와 천식입원에 대한 상대위험도의 형태를 나타낸다.  $SO_2$ 의 경우와 유사한 그림을 나타내며, 서울의 경우  $NO_2$ 의 농도와 천식에 따른 입원의 관계는 보이지 않지만, 상하이의 경우 선형적으로 증가하는 형태를 보인다.

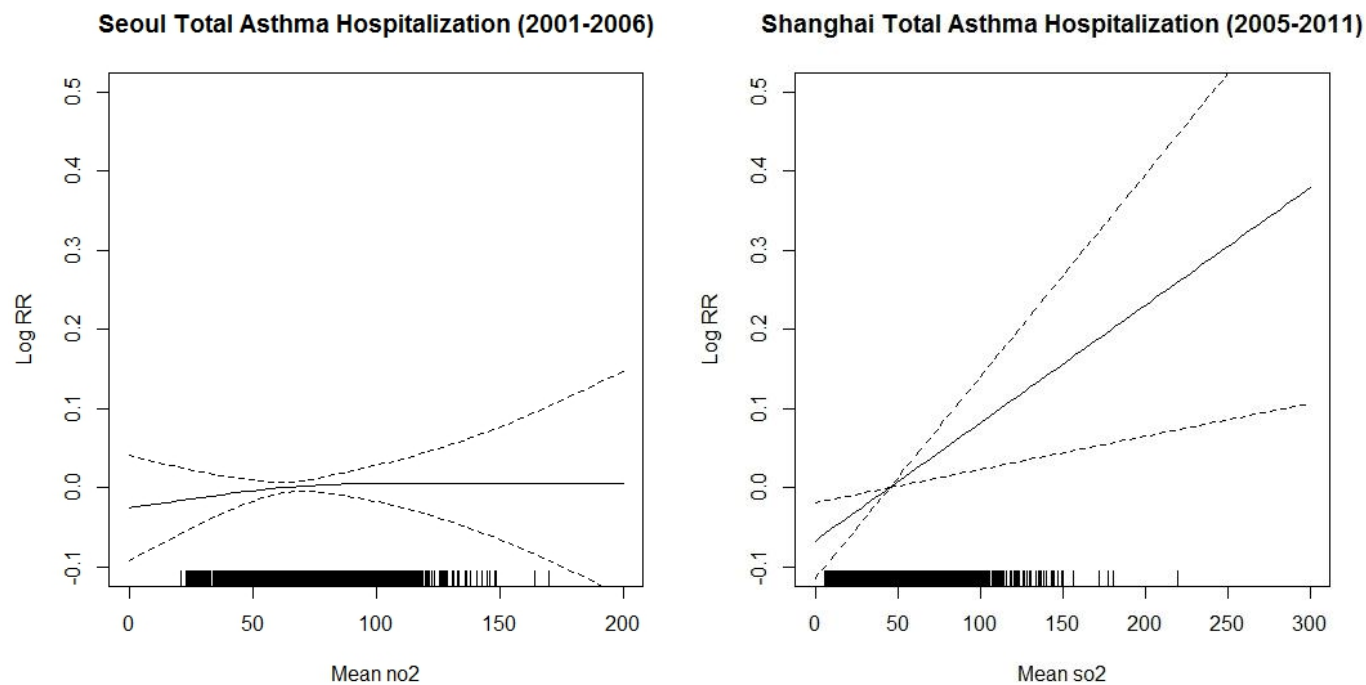
[Figure4] Smoothing plots of PM<sub>10</sub> against asthma hospital admission. X-axis is the pollutants concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (2day moving average lag, Lag01)



**[Figure5] Smoothing plots of SO<sub>2</sub> against asthma hospital admission. X-axis is the pollutants concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )**  
**(2day moving average lag, Lag01)**



[Figure6] Smoothing plots of NO<sub>2</sub> against asthma hospital admission. X-axis is the pollutants concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
(2day moving average lag, Lag01)





## 제 4 절 대기오염물질의 지연효과에 따른 천식의 입원 증가

[Table6], [Table7], [Table8]는 단일지연효과(Lag0-Lag5)와 이동평균법(lag01:2-day moving average lag)의 대기오염물질( $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ) 노출 농도의 10단위( $10\mu g/m^3$ ) 증가에 따른, 천식 입원의 증가를 서울과 상하이에서 각각 확인해 본 것이다.

통계적으로 유의한 관계는  $PM_{10}$ 의 경우([Table6])에는 서울에서는 lag0(0.540, 95% CI: 0.333, 0.747), lag01(0.572, 95%CI: 0.312, 0.832), lag1(0.248, 95% CI : 0.016, 0.479)에서 나타났으며 이는  $PM_{10}$  이  $10\mu g/m^3$  증가함에 따라, 0.57% 천식 입원이 증가함을 나타낸다(lag01 기준). 상하이에서는 lag5(0.324, 95% CI : 0.044, 0.694) 에서만 유의한 값을 보였으며,  $PM_{10}$  이  $10\mu g/m^3$  증가함에 따라, 0.32% 천식 입원이 증가한다.

$SO_2$ 의 경우([Table7])는  $PM_{10}$ 의 경우와 다르게 서울에서는 lag4(3.521, 95% CI : 0.661, 6.461)에서 유의하였으며,  $SO_2$  가  $10\mu g/m^3$  증가함에 따라, 3.52% 천식 입원이 증가한다. 상하이에서는 lag0(1.347, 95%CI: 0.422, 2.280), lag01(1.499, 95%CI: 0.447, 2.562), lag1(0.881, 95% CI : 0, 1.770) 에서 통계적으로 유의한 결과가 있었으며  $SO_2$  이  $10\mu g/m^3$  증가함에 따라, 1.49% 천식 입원

이 증가함을 의미한다(lag01 기준).

NO<sub>2</sub>의 경우([Table8])는 SO<sub>2</sub>와 유사한 결과를 보인다. 서울은 lag4(0.603, 95% CI : -0.014, 1.224)로서, NO<sub>2</sub> 이 10 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 증가함에 따라, 0.6% 천식 입원이 증가함을 의미한다. 상하이는 lag0(1.772, 95% CI : 0.733, 2.822), lag01(2.462, 95%CI : 1.240, 3.697), lag1(1.871, 95%CI : 0.817, 2.937)에서 유의하며, NO<sub>2</sub> 이 10 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 증가함에 따라, 2.46% 천식 입원이 증가한다(lag01 기준).

3가지 대기오염물질의 지연효과를 고려하고, 주로 가장 큰 결과값을 보인 lag01(2-day moving average lag) 를 사용하여, 다른 분석에서도 사용하였다. 이는 천식의 입원에 있어서 급성(immediate, acute)효과가 장기 노출(long-term exposure)에 비해 그 영향이 크다는 것을 말해주고 있다.

**[Table6] Percent change of risk (mean and 95% confidence interval) in daily asthma hospital admission per PM<sub>10</sub> 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  change of exposure in air pollutants in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) (\*: statistically significant)**

Seoul	PM <sub>10</sub>	Mean	95% CI	Shanghai	PM <sub>10</sub>	Mean	95% CI
	<b>lag0</b>	0.540*	0.333 0.747		<b>lag0</b>	-0.040	-0.421 0.341
	<b>lag01</b>	0.572*	0.312 0.832		<b>lag01</b>	0.013	-0.425 0.453
	<b>lag1</b>	0.248*	0.016 0.479		<b>lag1</b>	0.056	-0.317 0.430
	<b>lag2</b>	0.041	-0.193 0.275		<b>lag2</b>	-0.404	-0.779 -0.027
	<b>lag3</b>	0.158	-0.068 0.385		<b>lag3</b>	-0.500	-0.875 -0.123
	<b>lag4</b>	0.139	-0.080 0.359		<b>lag4</b>	-0.480	-0.853 -0.105
	<b>lag5</b>	-0.046	-0.288 0.196		<b>lag5</b>	0.324*	-0.044 0.694

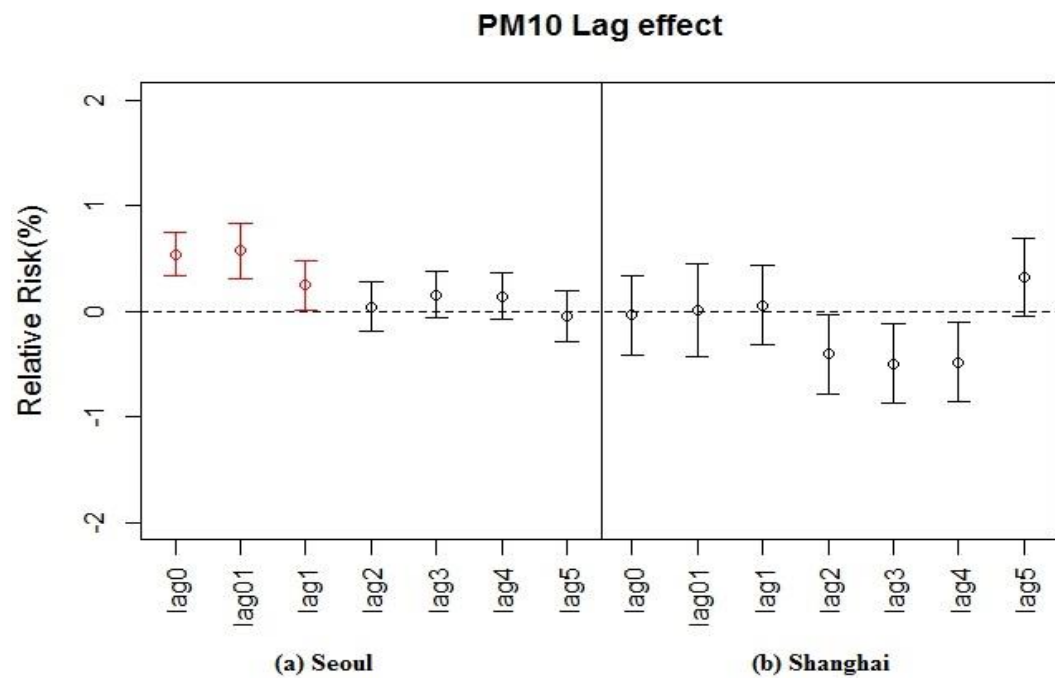
**[Table7] Percent change of risk (mean and 95% confidence interval) in daily asthma hospital admission per SO<sub>2</sub> 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  change of exposure in air pollutants in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) (\*: statistically significant)**

Seoul	SO <sub>2</sub>	Mean	95% CI	Shanghai	SO <sub>2</sub>	Mean	95% CI
	<b>lag0</b>	-1.121	-4.218 2.077		<b>lag0</b>	1.347*	0.422 2.280
	<b>lag01</b>	-1.713	-5.391 2.107		<b>lag01</b>	1.499*	0.447 2.562
	<b>lag1</b>	-1.302	-4.398 1.894		<b>lag1</b>	0.881*	0.000 1.770
	<b>lag2</b>	0.446	-2.472 3.451		<b>lag2</b>	0.031	-0.841 0.910
	<b>lag3</b>	2.133	-0.739 5.089		<b>lag3</b>	-0.275	-1.141 0.599
	<b>lag4</b>	3.521*	0.661 6.461		<b>lag4</b>	-0.284	-1.140 0.580
	<b>lag5</b>	1.096	-1.676 3.945		<b>lag5</b>	0.790	-0.065 1.652

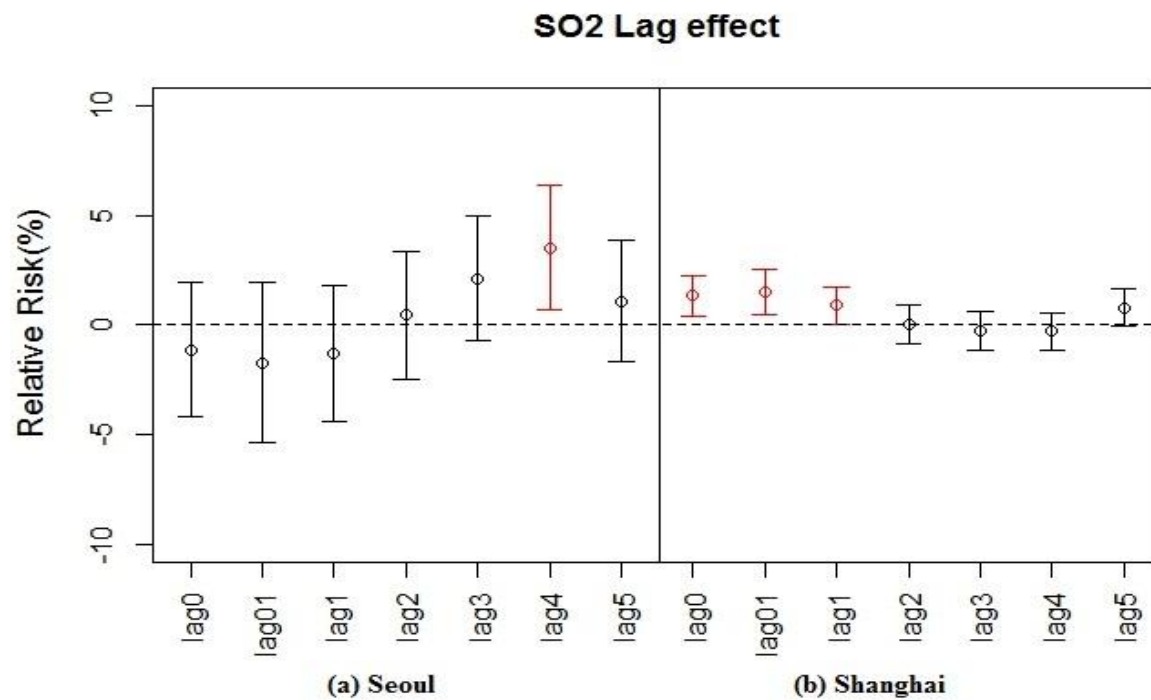
**[Table8] Percent change of risk (mean and 95% confidence interval) in daily asthma hospital admission per NO<sub>2</sub> 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  change of exposure in air pollutants in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) (\*: statistically significant)**

Seoul	NO <sub>2</sub>	Mean	95% CI	Shanghai	NO <sub>2</sub>	Mean	95% CI
	<b>lag0</b>	0.182	-0.520 0.890		<b>lag0</b>	1.772*	0.733 2.822
	<b>lag01</b>	-0.147	-1.015 0.728		<b>lag01</b>	2.462*	1.240 3.697
	<b>lag1</b>	-0.410	-1.136 0.322		<b>lag1</b>	1.871*	0.817 2.937
	<b>lag2</b>	0.062	-0.585 0.713		<b>lag2</b>	0.633	-0.404 1.681
	<b>lag3</b>	0.427	-0.198 1.056		<b>lag3</b>	0.046	-0.978 1.080
	<b>lag4</b>	0.603*	-0.014 1.224		<b>lag4</b>	-0.038	-1.051 0.985
	<b>lag5</b>	1.000	0.997 1.002		<b>lag5</b>	1.003	1.000 1.007

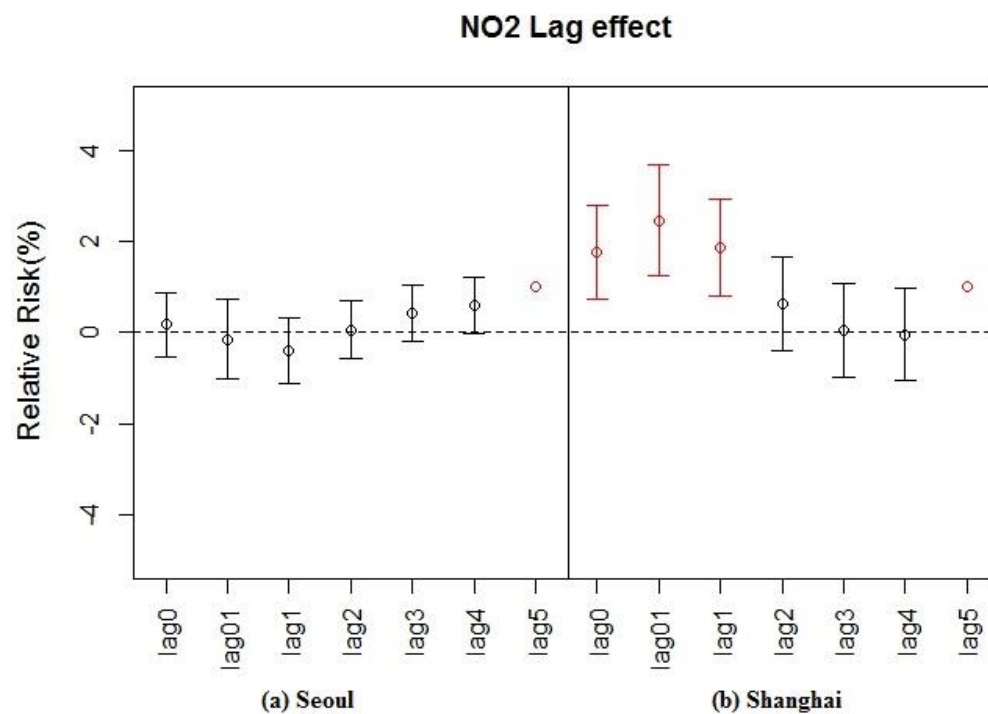
[Figure7] Relative risk (mean and 95% confidence interval) in daily asthma hospital admission per  $\text{PM}_{10}$   $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  change of exposure in air pollutants in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011)



**[Figure8] Relative risk (mean and 95% confidence interval) in daily asthma hospital admission per  $\text{SO}_2$   $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  change of exposure in air pollutants in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011)**



**[Figure9] Relative risk (mean and 95% confidence interval) in daily asthma hospital admission per NO<sub>2</sub> 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  change of exposure in air pollutants in Seoul and Shanghai**





## 제 5 절 대기오염물질의 계절별 천식의 입원 증가

[Table9]은 각각의 대기오염물질에 따른 계절별 효과를 추정한 것이다. 이동평균법(2-day moving average lag:lag01)을 적용하여 대기오염물질( $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ) 노출 농도의 10단위( $10\mu g/m^3$ ) 증가에 따른, 천식 입원의 퍼센트 증가를 계절별로 서울과 상하이에서 각각 확인해 본 것이다.

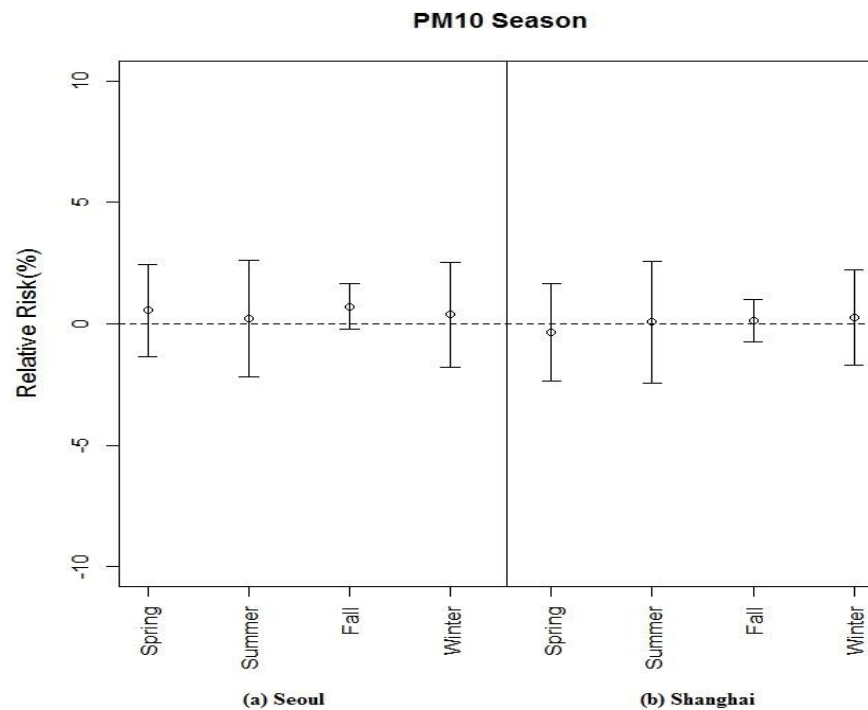
각 계절은 봄(3월-5월), 여름(6월-8월), 가을(9월-11월), 겨울(12월-2월)으로 서울과 상하이 두 지역 모두 구분하였다. 계절별 분석을 하였을 경우, 서울에서는 대기오염물질 중  $PM_{10}$ 이 가을에 거의 유의한 값(0.702, 95% CI : -0.227, 1.639)을 나타냈고  $PM_{10}$ 이  $10\mu g/m^3$  증가함에 따라, 0.7% 천식 입원이 증가함을 의미한다. 상하이에서는  $SO_2$ (2.279, 95% CI : 0.169, 4.434)와  $NO_2$ (1.993, 95%CI : 0.139, 4.171)에 있어서 다른 계절에 비해 가을에 차이가 크고, 유의한 것으로 나타났으며 이 결과는  $SO_2$ 가  $10\mu g/m^3$  증가함에 따라, 2.27% 천식 입원이 증가하고,  $NO_2$ 이  $10\mu g/m^3$  증가함에 따라, 1.99% 천식 입원이 증가함을 보여준다.

또한 두 지역 모두  $SO_2$ 와  $NO_2$ 는 계절별로 천식으로 인한 입원에 대한 차이가 나타났지만,  $PM_{10}$ 은 계절에 따라 차이가 두드러지지 않았다.

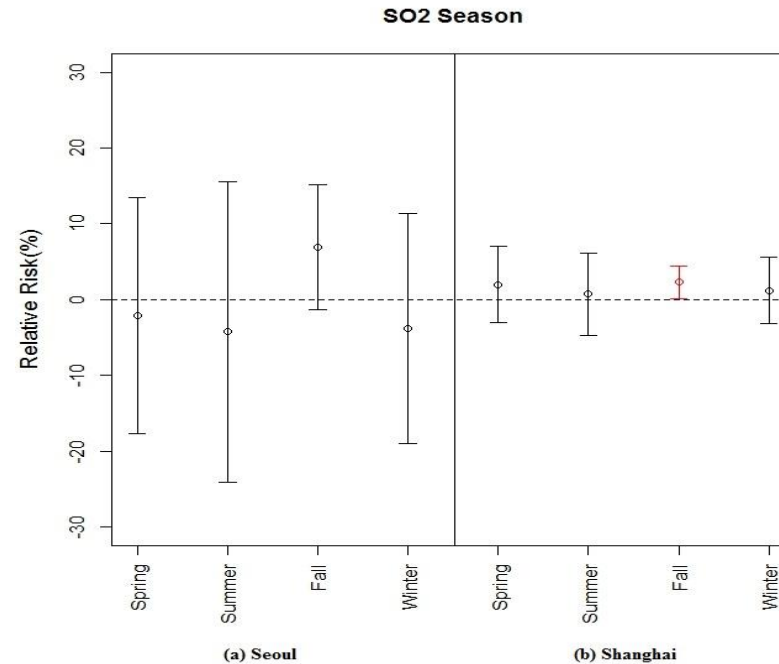
[Table9] Percent change of risk (mean and 95% confidence interval) in daily asthma hospital admission per 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  change of exposure in air pollutants by season in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) (\*: statistically significant)

Seoul	Mean	95% CI	Shanghai	Mean	95% CI
<b>PM<sub>10</sub></b>			<b>PM<sub>10</sub></b>		
<b>spring</b>	0.553	-1.341 2.485	<b>spring</b>	-0.337	-2.342 1.709
<b>summer</b>	0.208	-2.176 2.650	<b>summer</b>	0.068	-2.429 2.629
<b>fall</b>	0.702*	-0.227 1.639	<b>fall</b>	0.125	-0.749 1.006
<b>winter</b>	0.370	-1.804 2.592	<b>winter</b>	0.260	-1.714 2.273
<b>SO<sub>2</sub></b>			<b>SO<sub>2</sub></b>		
<b>spring</b>	-2.089	-17.687 16.464	<b>spring</b>	1.981	-3.083 7.309
<b>summer</b>	-4.243	-24.029 20.695	<b>summer</b>	0.742	-4.705 6.500
<b>fall</b>	6.926	-1.256 15.786	<b>fall</b>	2.279*	0.169 4.434
<b>winter</b>	-3.849	-19.002 14.138	<b>winter</b>	1.210	-3.208 5.830
<b>NO<sub>2</sub></b>			<b>NO<sub>2</sub></b>		
<b>spring</b>	-0.769	-4.266 2.856	<b>spring</b>	3.405	-2.044 9.157
<b>summer</b>	0.556	-3.553 4.841	<b>summer</b>	-1.254	-6.568 4.364
<b>fall</b>	0.488	-1.113 2.114	<b>fall</b>	1.993*	-0.139 4.171
<b>winter</b>	-0.589	-4.210 3.169	<b>winter</b>	4.496	-0.511 9.755

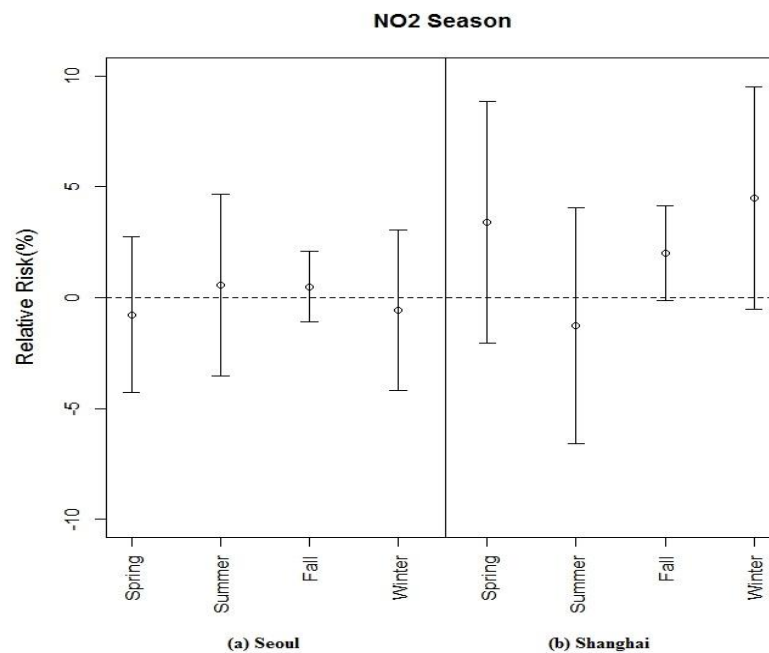
**[Figure10] Relative risk in daily asthma hospital admission per  $\text{PM}_{10}$   $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  change of exposure by season in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011)**



**[Figure11] Relative risk in daily asthma hospital admission per  $\text{SO}_2$   $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  change of exposure by season in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011)**



**[Figure12] Relative risk in daily asthma hospital admission per  $\text{NO}_2$   $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  change of exposure by season in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011)**



## 제 6 절 대기오염물질의 혼합모델에 따른 천식의 입원 증가

[Table10]은 두 대기오염물질( $PM_{10}+SO_2$ ,  $PM_{10}+NO_2$ ,  $SO_2+NO_2$ ,  $SO_2+PM_{10}$ ,  $NO_2+PM_{10}$ ,  $NO_2+SO_2$ :2-day moving average lag)을 동시에 고려하여 혼합모델을 만들어 천식에 대한 입원과의 영향을 살펴본 것이다.

우선  $PM_{10}$ 의 경우는  $PM_{10}$  단독모델,  $PM_{10}$ 을  $SO_2$ 로 보정,  $PM_{10}$   $NO_2$ 으로 보정해서 세가지로 살펴보았으며,  $SO_2$ 의 경우는  $SO_2$  단독모델,  $SO_2$ 을  $NO_2$ 로 보정,  $SO_2$ 를  $PM_{10}$ 으로 보정하여 살펴보았다. 마지막으로  $NO_2$ 도 다른 것과 마찬가지로  $NO_2$  단독으로 한 모델,  $NO_2$ 를  $PM_{10}$ 으로 보정한 모델,  $NO_2$ 를  $SO_2$ 로 보정한 모델을 살펴 보았다.

서울의 경우에는 천식에 따른 입원과 대기오염 물질 중  $PM_{10}$ 의 경우에는 단독모델(0.572, 95% CI : 0.312, 0.832)에서도,  $PM_{10}$ 이  $10\mu g/m^3$  증가함에 따라, 0.57%의 천식증가를 보여줬고, 이는 혼합모델인  $SO_2$ (0.625, 95%CI : 0.363, 0.888)와  $NO_2$ (0.597, 95%CI 0.335, 0.859)의 보정에도 큰 차이를 보이지 않았다. 한편  $SO_2$ 는 단독모델(-1.713, 95% CI : -5.391, 2.107)과 혼합모델( $PM_{10}$ 으로 보정: -3.657,  $NO_2$ 으로 보정:-2.486)에서 유의한 값을 보이지 않았다.  $NO_2$ 에서는 단일모델(-0.147, 95% CI : -1.015, 0.728)에서는 유의한 값을 나타내지 못했고, 혼합모델 중  $SO_2$ 로 보정한 경우(0.257, 95% CI :-0.964, 1.494)만 다소 유의미한 값을 나타냈고,  $PM_{10}$ 으로 보정한 경우는 (-0.500, 95%CI: -1.373, 0.380) 통계적으로 유의한 값을 보여주지 않았다.

상하이의 경우에는  $\text{SO}_2$ 의 단일모델 (1.499, 95% CI : 0.447, 2.562) 은 통계적으로 유의한 값을 나타냈지만,  $\text{PM}_{10}$ 으로 보정하였을 경우(2.519, 95% CI : 1.122, 3.935) 더 큰 영향을 보여주었고, 이는  $\text{SO}_2$ 가  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가함에 따라, 2.51% 천식 입원이 증가함을 보여준다. 또한 이 결과는  $\text{PM}_{10}$ 의 효과를 배제한  $\text{SO}_2$  자체의 효과를 의미하며 보정 전에 비해 1.66배정도 높은 수치이다.  $\text{NO}_2$  단일모델의 경우(2.462, 95% CI : 1.240, 3.697)가 통계적으로 유의한 값을 나타냈으며,  $\text{NO}_2$ 가  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가함에 따라, 2.46% 천식 입원이 증가함을 의미한다. 한편  $\text{NO}_2$ 를  $\text{PM}_{10}$ 으로 보정한 혼합모델 (4.395, 95% CI : 2.702, 6.116)의 경우 영향이 커졌고, 이 결과는  $\text{PM}_{10}$ 의 효과를 배제한  $\text{NO}_2$  자체의 효과를 의미하며 보정 전에 비해 1.76배정도 높은 수치로서,  $\text{NO}_2$ 가  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가함에 따라, 4.4% 천식 입원이 증가함을 의미한다. 하지만  $\text{SO}_2$ 로 보정한 경우 단일모델과 차이가 거의 나타나지 않았다(2.582, 95% CI : 0.780, 4.415). 한편  $\text{PM}_{10}$ 은 단독모델(0.013, 95% CI : 0.425, 0.453)과 혼합모델 ( $\text{SO}_2$ 로 보정: -0.659,  $\text{NO}_2$ 으로 보정: -1.035)에서 유의한 값을 보이지 않았다.

[Table10] Percent change of risk (mean and 95% confidence interval) in daily asthma hospital admission per 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  change of exposure in air pollutants with single and two-pollutant models in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) (\*:statistically significant)

Seoul	Mean	95%	CI	Shanghai	Mean	95%	CI
<b>PM<sub>10</sub></b>				<b>PM<sub>10</sub></b>			
<b>without adjustment</b>	0.572*	0.312	0.832	<b>without adjustment</b>	0.013	-0.425	0.453
<b>adjusted for SO<sub>2</sub></b>	0.625*	0.363	0.888	<b>adjusted for SO<sub>2</sub></b>	-0.659	-1.244	-0.070
<b>adjusted for NO<sub>2</sub></b>	0.597*	0.335	0.859	<b>adjusted for NO<sub>2</sub></b>	-1.035	-1.644	-0.422
<b>SO<sub>2</sub></b>				<b>SO<sub>2</sub></b>			
<b>without adjustment</b>	-1.713	-5.391	2.107	<b>without adjustment</b>	1.499*	0.447	2.562
<b>adjusted for PM<sub>10</sub></b>	-3.657	-7.322	0.153	<b>adjusted for PM<sub>10</sub></b>	2.519*	1.122	3.935
<b>adjusted for NO<sub>2</sub></b>	-2.486	-7.573	2.881	<b>adjusted for NO<sub>2</sub></b>	-0.139	-1.666	1.413
<b>NO<sub>2</sub></b>				<b>NO<sub>2</sub></b>			
<b>without adjustment</b>	-0.147	-1.015	0.728	<b>without adjustment</b>	2.462*	1.240	3.697
<b>adjusted for PM<sub>10</sub></b>	-0.500	-1.373	0.380	<b>adjusted for PM<sub>10</sub></b>	4.395*	2.702	6.116
<b>adjusted for SO<sub>2</sub></b>	0.257	-0.964	1.494	<b>adjusted for SO<sub>2</sub></b>	2.582*	0.780	4.415



## 제 4 장 결론 및 고찰

본 연구는 대기 오염에 따른 천식 입원의 증가를 서울(Seoul)과 상하이(Shanghai)에서 살펴본 것이다.

상하이에서 대기오염물질 중 가스 성 물질( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ )이  $\text{PM}_{10}$ 보다 상대적으로 천식의 입원에 더 큰 위험 요인인 것으로 나타났다. 이와 반대로 서울에서는  $\text{PM}_{10}$ 이 천식의 입원에  $\text{SO}_2$ 와  $\text{NO}_2$ 보다 더 큰 영향을 미치는 것으로 보여진다. 이러한 결과는 각 지역에서 나타나는 각 대기오염 물질의 농도로 해석될 수 있다. 앞서 설명 되어진 것처럼  $\text{SO}_2$ 의 농도는 상하이가 서울에 비해 3배정도 더 많으며, 서울의  $\text{PM}_{10}$ 농도는 다른 물질( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ )에 큰 영향을 받지않고 상대적으로 고농도이다. 이와 더불어 본 연구자료의  $\text{NO}_2$ 는 서울이 상하이 보다 약간 고농도이지만 2015년 NASA의  $\text{NO}_2$  대기오염농도에서 서울과 상하이는 공동 세계4위로 높은 대기오염을 나타냈고, 다른 연구자료도 마찬가지로 서울이 높은 자동차보급률과 함께  $\text{NO}_2$ 가 높은 것은 합리적인 것으로 보였다(Kang TK et al., 2013).

한편 대기오염물질의 농도에 따른 경보시스템도 이에 영향을 미칠 수 있다. 대기오염물질의 급증에 따른 경보를 발령하는 중국의 상하이의 경우 실외 활동을 자제하게 되고, 가시적이며 민감한 대기오염 물질인 고농도의 실외  $\text{PM}_{10}$ 에는 노출이 실제로는 적고 오히려 지속적으로 노출된  $\text{SO}_2$ 와  $\text{NO}_2$ 가 큰 영향을 줄 수 있다. 이에 반해 한국에서는 대기오염예보가 있지만 중국의 경우에 비해서 외부활동을 제한하는 정도가 덜 하다고 보여지며,  $\text{SO}_2$ 와  $\text{NO}_2$ 에 비해 상대적으로 높은  $\text{PM}_{10}$  농도의 단기간 노출이 천식의 악화를 초래하고 폐기능을 떨어뜨릴 수 있다고 볼 수 있다(Kan, H. et al., 2014).

그리고 천식의 입원에 미치는 건강 영향은 지연 효과(lag effect)로 해석해 볼 수 있다. 서울에서는  $\text{PM}_{10}$ 의 경우에는 lag0, lag1,

lag01(이동평균법)가 유의하게 나타났으며, SO<sub>2</sub>와 NO<sub>2</sub>는 lag4가 통계적으로 유의한 값을 보여주었다. 상하이에서는 PM<sub>10</sub>의 경우는 lag5, SO<sub>2</sub>와 NO<sub>2</sub>는 lag0, lag1, lag01 에서 유의한 결과치를 나타냈다. 가장 두드러지게 관련성을 살펴볼 수 있었던 지연효과는 lag01로서 다른 모델에도 lag01를 적용하여 결과값을 살펴보았다. 다시 말하자면 대기오염물질(PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>)이 천식에 미치는 영향이 주로 짧은 지연효과를 나타냈고 이는, 급성적이고 즉각적인 대기오염물질의 농도증가에 따른 것임을 암시하고 있다.

또한 본 연구에서 천식의 입원의 증가에 미치는 중요한 요소로 계절도 들 수 있었다. 계절별 영향에서 천식은 다른 유사한 연구들에서 가을의 선선한 날씨와 일교차 및 환절기에 따른 천식 환자가 급증 하는 것과 마찬가지로 서울과 상하이 두 지역 모두에서 따뜻한 계절(여름)에 비하여 차가운 계절(가을, 겨울), 특히 가을의 대기오염과 천식의 입원이 강한 영향을 보여주었다. 이는 차가운 공기가 기도를 왕복하여, 점막이 건조해지면서 호흡기 보호층이 약화되어 기관지를 자극할 뿐만 아니라, 환절기가 되어 갑자기 떨어진 기온에 몸이 적응을 하지 못하고 면역력이 떨어져 생긴다고 말 할 수 있으며, 가을철 식물의 씨앗과 꽃가루 등에 의한 알러지 반응으로 해석 될 수도 있다(Kim SH et al, 2015).

본 연구의 제한 점은 다음과 같다. 우선 연구가 개인의 특성을 고려하기 어려운 생태적 디자인으로 설계되었기에, 천식의 급성악화가 대기오염이라는 원인과 결과를 직접적으로 유추하기에는 한계점을 지니고 있지만, 관련성을 추정할 수 있다. 또한 다수의 대기오염물질의 측정장소를 단순 평균하여 사용하였으므로, 대기오염의 개인별 노출의 정도가 다르다는 것을 고려하지 못한다. 그리고 다수의 연구 결과에서 고려된 대기오염물질인 O<sub>3</sub> 및 PM<sub>2.5</sub> 는 중국 자료 수집의 한계로 인해서 본 연구에서 함께 분석되지 못했다.

## 참고문헌

Chen, B., Hong, C., & Kan, H. (2004). Exposures and health outcomes from outdoor air pollutants in China. *Toxicology*, 198(1), 291-300.

Kan, H., London, S. J., Chen, G., Zhang, Y., Song, G., Zhao, N., ... & Chen, B. (2008). Season, sex, age, and education as modifiers of the effects of outdoor air pollution on daily mortality in Shanghai, China: The Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA) Study. *Environ Health Perspect*, 116(9), 1183-1188.

World Health Organization. (2004). Health aspects of air pollution: results from the WHO project "Systematic review of health aspects of air pollution in Europe".

Goldberg, M. S., Burnett, R. T., Bailar 3rd, J. C., Tamblyn, R., Ernst, P., Flegel, K., ... & Vincent, R. (2001). Identification of persons with cardiorespiratory conditions who are at risk of dying from the acute effects of ambient air particles. *Environmental health perspectives*, 109(Suppl 4), 487.

Masoli, M., Fabian, D., Holt, S., & Beasley, R. (2004). The global burden of asthma: executive summary of the GINA Dissemination Committee report. *Allergy*, 59(5), 469-478.

To, T., Stanojevic, S., Moores, G., Gershon, A. S., Bateman, E. D., Cruz, A. A., & Boulet, L. P. (2012). Global asthma prevalence in adults: findings from the cross-sectional world health survey. *BMC public health*, 12(1), 204.

Chen, Z. H., Wang, P. L., & Shen, H. H. (2013). Asthma research in China: A five-year review. *Respirology*, 18(S3), 10-19.

Abe, T., Tokuda, Y., Ohde, S., Ishimatsu, S., Nakamura, T., & Birrer, R. B. (2009). The relationship of short-term air pollution and weather to ED visits for asthma in Japan. *The American journal of emergency medicine*, 27(2), 153-159.

Jaffe, D. H., Singer, M. E., & Rimm, A. A. (2003). Air pollution and emergency department visits for asthma among Ohio Medicaid recipients, 1991–1996. *Environmental Research*, 91(1), 21-28.

Sunyer, J., Spix, C., Quenel, P., Ponce-de-Leon, A., Pönka, A., Barumandzadeh, T., ... & Katsouyanni, K. (1997). Urban air pollution and emergency admissions for asthma in four European cities: the APHEA Project. *Thorax*, 52(9), 760-765.

Yang, C. Y., Chen, C. C., Chen, C. Y., & Kuo, H. W. (2007). Air pollution and hospital admissions for asthma in a subtropical city: Taipei, Taiwan. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 70(2), 111-117.

Dominici, F., Peng, R. D., Bell, M. L., Pham, L., McDermott, A., Zeger, S. L., & Samet, J. M. (2006). Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases. *Jama*, 295(10), 1127-1134.

Peng, R. D., Dominici, F., & Louis, T. A. (2006). Model choice in time series studies of air pollution and mortality. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society)*, 169(2), 179-203.

Bell, M. L., Ebisu, K., Peng, R. D., Walker, J., Samet, J. M., Zeger, S. L., & Dominici, F. (2008). Seasonal and regional short-term effects of fine particles on hospital admissions in 202 US counties, 1999–2005. *American journal of epidemiology*, 168(11), 1301-1310.

McCreanor, J., Cullinan, P., Nieuwenhuijsen, M. J., Stewart-Evans, J., Malliarou, E., Jarup, L., ... & Zhang, J. (2007). Respiratory effects of exposure to diesel traffic in persons with asthma. *New England Journal of Medicine*, 357(23), 2348-2358.

Cai, J., Zhao, A., Zhao, J., Chen, R., Wang, W., Ha, S., ... & Kan, H. (2014). Acute effects of air pollution on asthma hospitalization in Shanghai, China. *Environmental pollution*, 191, 139-144.

강택구, 심창섭, 추장민, 노태호, 김예화, 정성운, 동잔평(2013). 한 ·

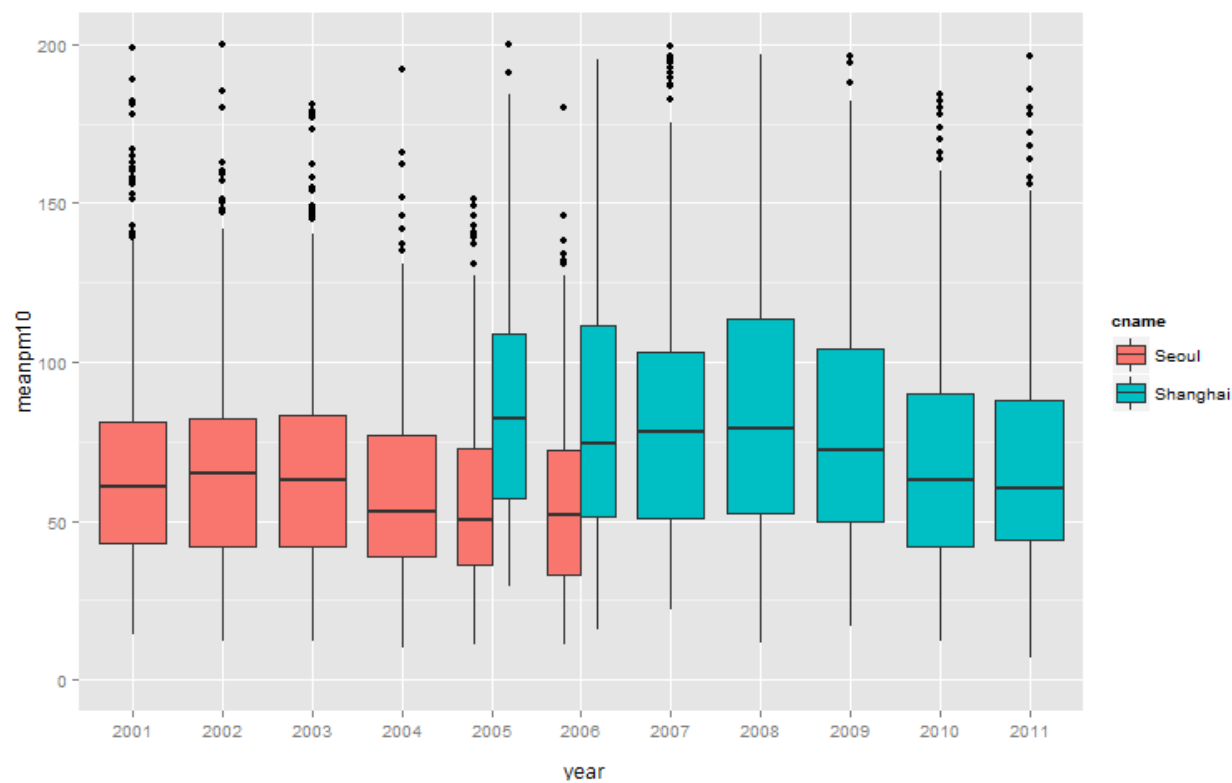
중대기오염 저감 관리 비교와 협력방안 보고서. KIEP 중국종합연구,  
13-56

Kim SH, Yang HJ, Jang AS, Kim SH, Song WJ, Kim TB, Ye YM, Yoo Y, Yu J,  
Yoon JS, Jee HM, Suh DI, Kim CW.(2015). Effects of particulate matter in  
ambient air on the development and control of asthma. Allergy Asthma Respir  
Dis. 2015 Sep;3(5):313-319.

## Appendix

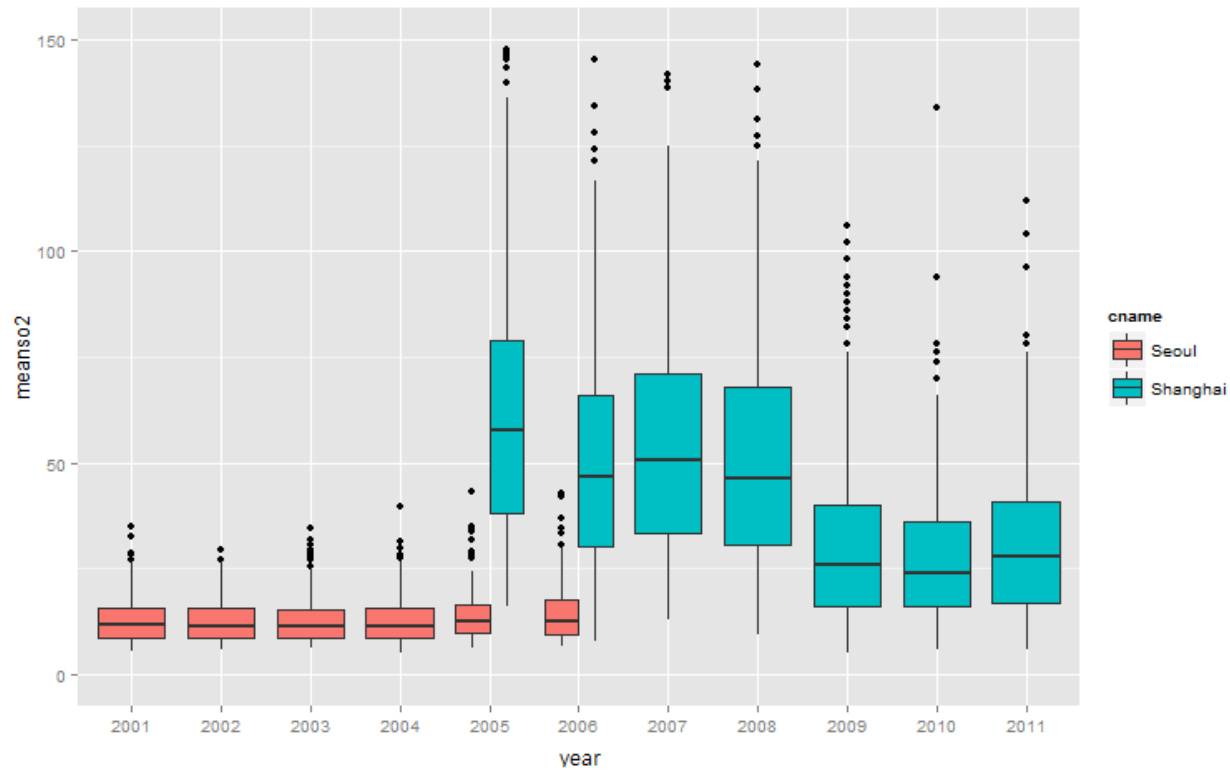
[Figure13] Comparisons of Mean PM <sub>10</sub> concentrations (24-h average) in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) by year .....	45
[Figure14] Comparisons of Mean SO <sub>2</sub> concentrations (24-h average) in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) by year .....	46
[Figure15] Comparisons of Mean NO <sub>2</sub> concentrations (24-h average) in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) by year .....	47
[Figure16] Comparisons of Mean PM <sub>10</sub> concentrations (24-h average) in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) by season .....	48
[Figure17] Comparisons of Mean SO <sub>2</sub> concentrations (24-h average) in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) by season .....	49
[Figure18] Comparisons of Mean NO <sub>2</sub> concentrations (24-h average) in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) by season .....	50

[Figure13] Comparisons of Mean PM10 concentrations (24-h average) in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) by year

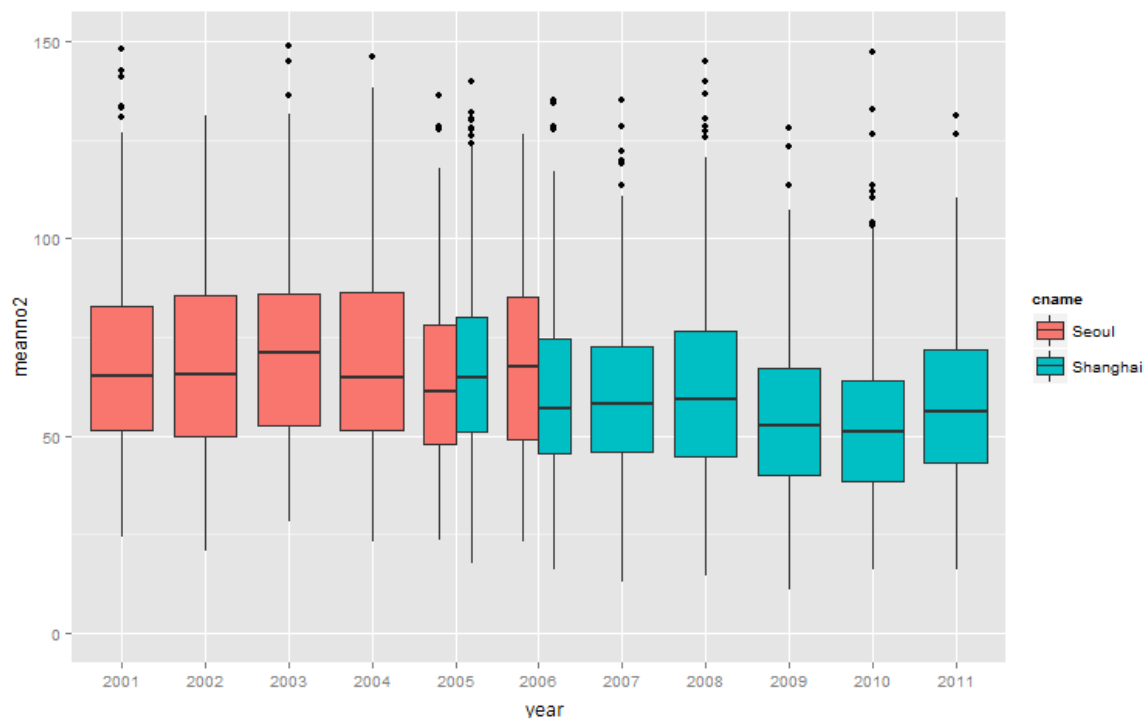




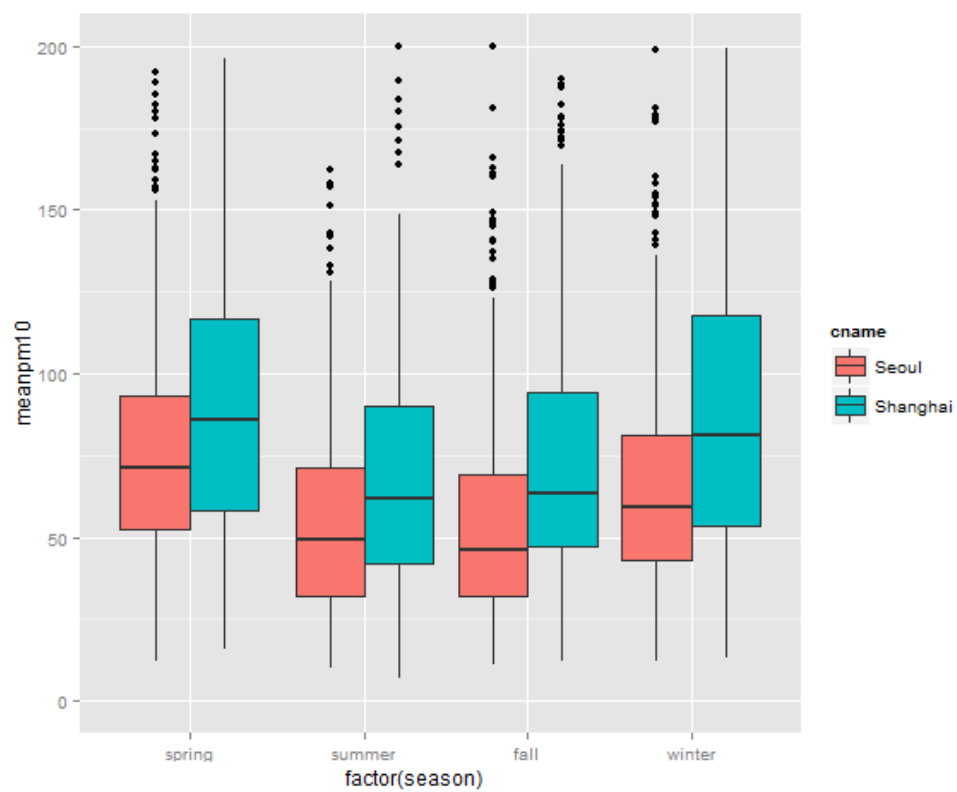
[Figure14] Comparisons of Mean SO<sub>2</sub> concentrations (24-h average) in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) by year



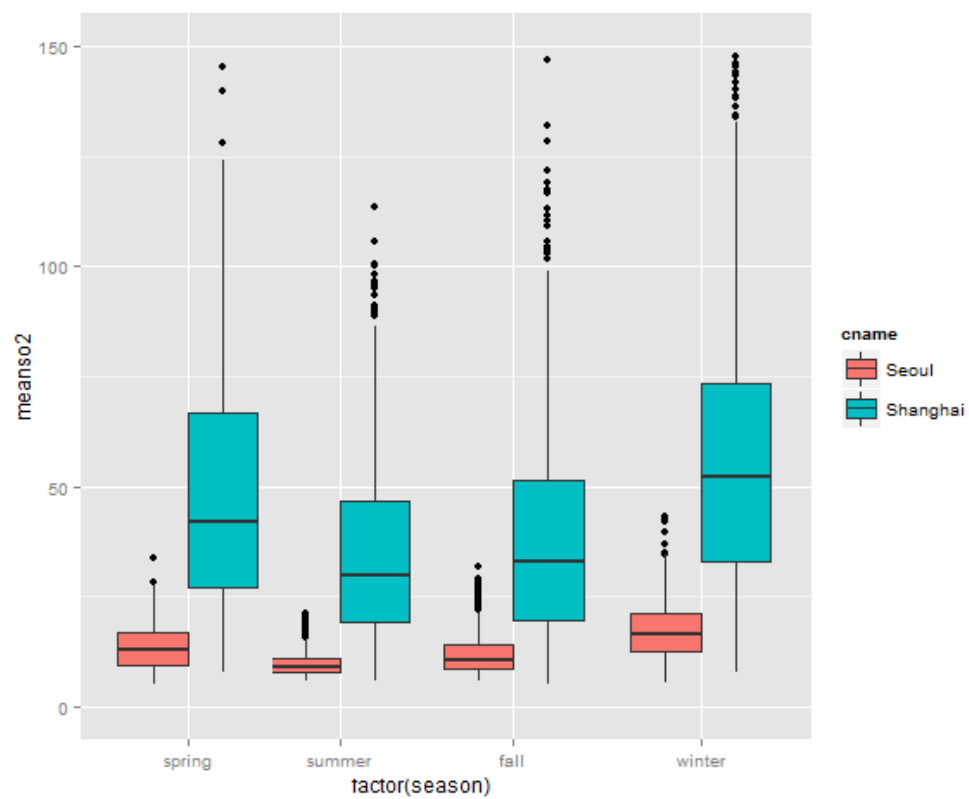
[Figure15] Comparisons of Mean NO2 concentrations (24-h average) in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) by year



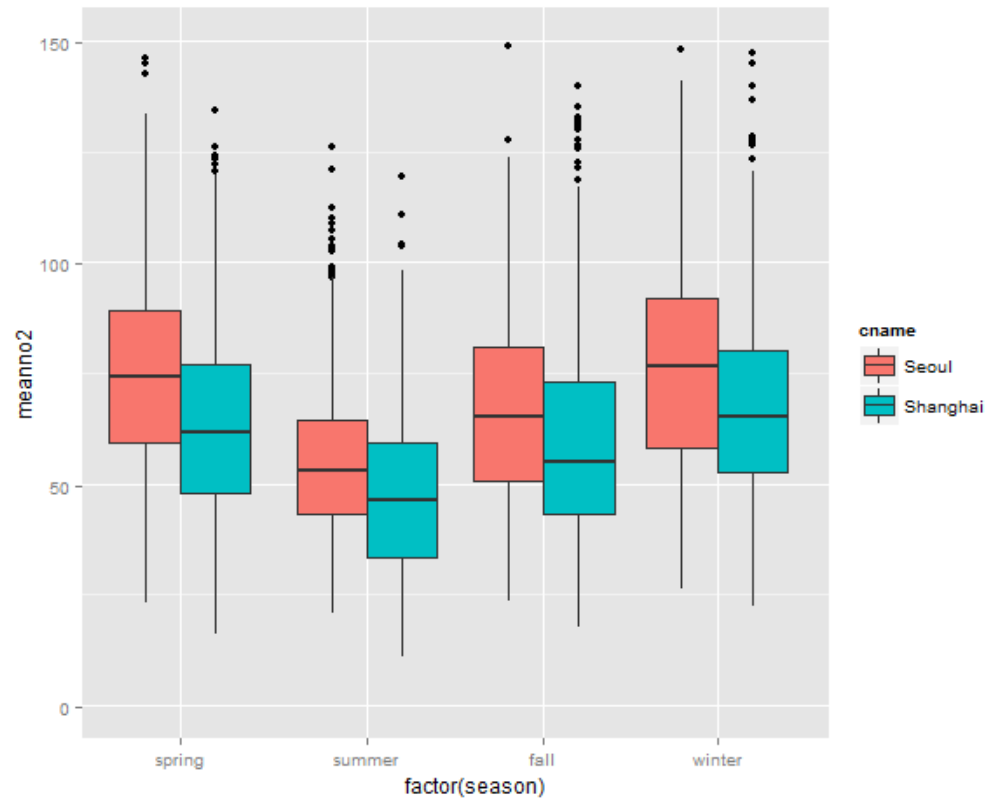
**[Figure16] Comparisons of Mean PM<sub>10</sub> concentrations (24-h average) in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) by season**



[Figure17] Comparisons of Mean SO<sub>2</sub> concentrations (24-h average) in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) by season



[Figure18] Comparisons of Mean NO<sub>2</sub> concentrations (24-h average) in Seoul(2001-2005) and Shanghai(2006-2011) by season



## **Abstract**

# **Associations of air pollution on asthma hospitalization in Seoul and Shanghai**

Woong Jeon

Dept. of Epidemiology and Biostatistics

Graduate School of Public Health

Seoul National University

**Background :** Asthma is a common chronic inflammatory disease of the airways characterized by variable and recurring symptoms, reversible airflow obstruction. Common symptoms include wheezing, coughing, chest tightness, and shortness of breath and it is a high economic burden in our society. Many previous studies asserts that asthmatic disease affect many people and the prevalence of asthma is higher in well developed areas. Also, air pollution has been regarded as a contributor to asthma exacerbation.

**Aims :** This study intends to analyze the associations of air pollution on asthma hospitalization and healthcare utilization in Seoul and Shanghai using national health insurance data (NHI-Korea health insurance, SHIB-Shanghai health insurance).

**Methods :** Air pollution levels and daily asthma hospitalization are linked by date. Therefore, this data could be analyzed with a time series design using generalized additive model. Dependent variable is daily hospital daily hospital admission for asthma and over-dispersed generalized additive Poisson models (quasi-likelihood) to estimate the association of asthma hospital admission with air pollution levels. Independent variables are  $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ , and two day moving average lag used. Lastly, natural smooth (ns) functions were used to exclude unmeasured long-term, seasonal trends in the time-series dataset and potential nonlinear confounding effects.

**Results :** On average, Daily hospital admissions for asthma were 21 counts in Seoul, 5 counts in Shanghai. In both areas, hospital admission for asthma was high in fall. The average of daily concentrations was  $65\mu g/m^3$  (Seoul),  $87\mu g/m^3$  (Shanghai) for  $PM_{10}$ ,  $13\mu g/m^3$  (Seoul),  $45\mu g/m^3$  (Shanghai) for  $SO_2$ ,  $68\mu g/m^3$  (Seoul),  $59\mu g/m^3$  (Shanghai) for  $NO_2$ , The means of daily average temperature and humidity were  $12^\circ C$  (Seoul),  $17^\circ C$  (Shanghai) and 61% (Seoul), 69% (Shanghai).  $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$  had moderately high correlation coefficients with each other, and asthma hospitalization had high correlation coefficients with air pollution. For these three air pollutants, the largest effects were observed at Lag 01 models (2-day moving average lag). In the season-specific analysis, stronger associations were observed in the fall season for  $PM_{10}$  in Seoul, fall seasons for  $SO_2$  in shanghai and fall seasons for  $NO_2$  in Shanghai. In two-pollutant models, the associations between hospital admission for asthma and  $PM_{10}$  were strong and statistically significant in

Seoul regardless of adjustment. Also, the associations between hospital admission for asthma and  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  were strong after adjustment for  $\text{PM}_{10}$  in Shanghai. Lastly this study shows that there is a strong relationship on  $\text{PM}_{10}$  in Seoul,  $\text{SO}_2$  and  $\text{NO}_2$  in Shanghai with hospital admission for asthma.

**Conclusion:** This study shows that outdoor air pollution was associated with increased risk of asthma hospitalization in Seoul and Shanghai. In China especially Shanghai, Gaseous air pollutants ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ) seemed to have larger effects on asthma hospitalization compared to  $\text{PM}_{10}$ . In contrast, Seoul, Korea,  $\text{PM}_{10}$  had much higher risk on asthma hospitalization than that of  $\text{SO}_2$  and  $\text{NO}_2$ . These results suggested that associations of air pollution on asthma exacerbations should be considered in asthma related policy decisions and resource distributions of public health.

**Key words:** Asthma, Seoul, Shanghai, Pollution, Hospitalization, Generalized Additive model

**Student number:** 2013-21871